

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2009

Bc. Jakub Sznapka

VŠB- Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Optimalizace režimu elektrické obloukové pece.
Electric arc furnace mode optimization.

2009

Bc. Jakub Sznapka

Prohlášení:

„Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.“

Poděkování:

*Děkuji panu Ing. Vladimíru Královi, vedoucímu této diplomové práce za poskytnutí odborného vedení a literatury.
Děkuji Ing. Lukáši Milerskému za odborné konzultace a technickou podporu.*

V Ostravě dne:.....

Podpis studenta:

Abstrakt

Na začátku této práce rozeberu základy elektrického oblouku. Následně se budu zabývat rozborem energetických parametrů v závislosti na vyráběné jakosti oceli, rozborem spotřebních parametrů EOP5 při provozu s různými napěťovými stupni. Rozeberu spotřebu RCB hořáků při provozu EOP5 s nižšími napěťovými stupni. Dále naplánuji nákup energií a vyhodnotím závislost tavicího proudu na průměrné hmotnosti taveb EOP5.

Abstract

I will deal with the analyses of electric circuit to start with. Following this procedure, I will deal with an analysis of energetic parameters in correspondence with the quality of steel production, and with the analysis of excise EOP5 parameters during the usage of various tension degrees. I will analyse the consumption of RCB burners using the EOP5 lower tension degrees. Furthermore, I will plan the purchase of energy and I will evaluate the dependency of the current smelting, based on the average weight of EOP5 meltage.

Klíčová slova

Elektrická oblouková pec, elektrický oblouk, elektroda, tlumivka, automatická regulace, napěťové stupně, zůstatek oceli v peci, transformátor, rafinační plynový hořák, hodinový odběr,

Passwords

Electric arc furnace, electric arc, electrode, reactor, automatic regulation, voltage level, residue steel in the furnace, transformer, refining gas burner, hourly sampling

Seznam použitých symbolů a zkratek:

EOP	elektrická oblouková pec
RCB	rafiniční kombinovaný hořák
vn	vysoké napětí
nn	nízké napětí
PC	osobní nebo podnikový počítač
I	proud [A]
I_0	proud oblouku [A]
R	činný odpor [Ω]
R_0	odpor oblouku [Ω]
U	napětí [V]
U_0	napětí na oblouku [V]
U_{tr}	napětí transformátoru [V]
U_{zh}	zhášecí napětí [V]
U_{za}	zapalovací napětí [V]
L	délka oblouku [m]
L	indukčnost [H]
P	výkon [W]
P_s	spotřeba [kWh]
$\cos\varphi$	účinník [-]

Obsah

OBSAH	- 1 -
ÚVOD	- 3 -
1. ÚVOD DO TEORETICKÉ ČÁSTI	- 4 -
1.1. VZNIK ELEKTRICKÉHO OBLOUKU	- 4 -
1.2. IONIZACE	- 4 -
1.3. ROZDĚLENÍ OBLOUKU	- 5 -
1.3.1. ELEKTRICKÝ OBLOUK STEJNOSMĚRNÝ	- 6 -
1.3.2. ELEKTRICKÝ OBLOUK STŘÍDAVÝ	- 8 -
2. ELEKTRICKÁ OBLOUKOVÁ PEC	- 11 -
2.1. JEDNOTLIVÉ DRUHY OBLOUKOVÝCH PECÍ	- 11 -
2.1.1. PECE S NEPŘÍMO PŮSOBÍCÍM OBLOUKEM	- 11 -
2.1.2. PEC SE ZAKRYTÝM OBLOUKEM	- 12 -
2.1.3. PEC S PŘÍMÝM OBLOUKEM	- 12 -
2.1.4. PECE NA VAKUOVÉ TAVENÍ	- 13 -
2.1.5. PECE INDUKČNĚ OBLOUKOVÉ	- 14 -
2.2. POPIS OBLOUKOVÉ PECE	- 14 -
2.3. ELEKTRICKÝ OBVOD OBLOUKOVÉ PECE	- 15 -
2.3.1. HLAVNÍ VYPÍNAČ	- 16 -
2.3.2. VYSOKONAPĚŤOVÝ ODPOJOVAČ	- 16 -
2.3.3. TLUMIVKY	- 16 -
2.3.4. TRANSFORMÁTORY	- 17 -
2.3.5. KRÁTKÁ CESTA	- 18 -
2.4. KOMPENZACE ÚČINÍKU	- 20 -
2.5. RUŠIVÉ VLIVY ELEKTRICKÉ OBLOUKOVÉ PECE	- 21 -
2.6. ELEKTRICKÉ PARAMETRY OBLOUKOVÉ PECE	- 21 -
2.6.1. KRUHOVÝ DIAGRAM	- 21 -
2.6.2. MAXIMÁLNÍ VÝKON PECE A OBLOUKU	- 24 -
2.6.3. PRACOVNÍ CHARAKTERISTIKY OBLOUKOVÉ PECE	- 26 -
2.7. POPIS ELEKTRICKÉ OBLOUKOVÉ PECE Č. 5 V MAJETKU VÍTKOVICE HEAVY MACHINERY A.S.	- 28 -
2.7.1. TECHNICKÉ PARAMETRY PECE Č. 5	- 28 -
2.7.2. TECHNICKÝ POSTUP TAVENÍ	- 29 -

3.	OPTIMALIZACE ENERGETICKÉHO REŽIMU OBLOUKOVÉ PECE.....	- 30 -
3.1.	KRITÉRIU OPTIMALIZACE ENERGETICKÉHO REŽIMU	- 30 -
3.2.	ENERGETICKÝ A TECHNOLOGICKÝ SYSTÉM AISYS	- 31 -
3.2.1.	TECHNICKÝ POPIS MĚŘÍCÍ SOUPRAVY	- 31 -
3.2.2.	PŘENOS DAT PRO OBCHODNÍ MĚŘENÍ.....	- 32 -
3.2.3.	ZAPOJENÍ MĚŘÍCÍHO ZAŘÍZENÍ	- 33 -
3.2.4.	POPIS PROGRAMOVÉHO PROSTŘEDÍ.....	- 33 -
3.2.5.	MOŽNOSTI ARCHIVACE DAT V PROSTŘEDÍ AISYS.....	- 34 -
4.	VYHODNOCENÍ DAT	- 34 -
4.1.	ROZBOR ENERGETICKÝCH PARAMETRŮ EOP Č. 5 V ZÁVISLOSTI NA VYRÁBĚNÉ JAKOSTI OCELI	- 34 -
4.2.	PROVOZ SPOTŘEBNÍCH PARAMETRŮ EOP Č. 5 S RŮZNÝMI NAPĚŤOVÝMI ODBOČKAMI	- 35 -
4.3.	PLÁNOVÁNÍ NÁKUPU ENERGIÍ – PŘESNOST PLÁNU VZHLEDEM KE SKUTEČNÉMU ODBĚRU	- 36 -
4.4.	ZÁVISLOST TAVÍCÍHO PROUDU NA PRŮMĚRNÉ HMOTNOSTI TAVEB EOP Č. 5. -	37 -
5.	ZHODNOCENÍ	- 38 -
6.	ZÁVĚR	- 38 -
7.	LITERATURA	- 39 -
8.	SEZNAM TABULEK.....	- 40 -
9.	SEZNAM PŘÍLOH.....	- 41 -

Úvod

Při pokroku lidstva hrála výroba oceli nemalou roli. Od roku 1970 nabírá toto odvětví velkého rozmachu a je patrné, že velký podíl na výrobě a zpracování oceli zastává výroba v elektrických obloukových pecích (dále jen EOP). V současné době je takto vyrobená ocel zastoupená 1/3 z celkové výroby surové oceli. A i nadále toto zastoupení poroste. Pro tento předpoklad mluví hned několik faktorů. Jedná se hlavně o jednoduchost a flexibilitu výroby, rostoucí produktivita těchto zařízení (velikost vsázky přesahuje až 300 tun a výkon EOP může být až 200 MV·A). Z několika nevýhod můžu podotknout energetickou náročnost a dlouhodobě rostoucí cenu energií.

Právě díky růstu cen se podniky velice zajímají jak tyto náklady co nejvíc omezit a tím zlevnit výrobu konečného produktu. Způsoby, jak omezit cenu, můžeme rozdělit do dvou základních skupin a to na technické a ekonomické. Do technické skupiny patří zvětšování celkové účinnosti EOP. Účinnost můžeme zvětšit modernizací jednotlivých částí EOP. Nebo dokonce nákupem nové EOP s větší účinností. O výběru modernizace, ať se jedná o modernizaci částečnou anebo celkovou, rozhoduje několik faktorů, které rozeberu později v této diplomové práci.

K ekonomickému snižování cen můžeme zařadit správně dohodnuté hodinové odběry a čtvrt hodinová maxima. Rozhoduje i správná volba stupně tlumivky, velikost roztaveného zbytku oceli v závislosti na množství nové vsázky a podobně.

Správné nastavení pece nám v dnešní době velice ulehčuje výpočetní technika s automatickým měřícím systémem. Změřená data jsou zaznamenána a následně vyhodnocována. Výsledky pak mohou rozhodnout o nákupu jednotlivých surovin, popřípadě získána data mohou ovlivnit nastavení jednotlivých výrobních cyklů a postupů při výrobě oceli. Takovému postupu pak říkáme optimalizace chodu elektrické obloukové pece.

1. Úvod do teoretické části

1.1. Vznik elektrického oblouku

Podle encyklopedie Diderot je oblouk druh samostatného výboje, skládající se z plazmatu a elektrodových oblastí (katodové a anodové). Vzniká nejčastěji po oddálení částí, které vedou elektrický proud v elektrickém obvodu, např. kontaktů elektrického spínacího přístroje.

K vzniku oblouku může také dojít při překročení elektrické pevnosti vzduchu. Za normálních povětrnostních podmínek je vzduch nevodivý. Jeho elektrická pevnost činí cca 33kV/cm. Po překročení této hranice, vlivem silného elektrického pole, se ionizuje vzduch kolem elektrod. Napětí je tak velké, že dojde k průrazu elektrické izolace vzduchu a ke vzniku elektrického oblouku. Oblouk je tvořen ionizovanými horkými plyny kladoucími proudu relativně malý odpor, proto je zde poměrně velký elektrický proud, který ohřívá okolní ionizovaný vzduch. Teplota oblouku může přesahovat i teploty přes 7000°C. Z fyzikálních zákonů plyne, že se kolem vodičů a oblouku vytvoří magnetické pole, které na ně zpětně působí silou. Se zvětšující se vzdáleností elektrod a při zachování velikosti napětí, dochází k ionizaci čím dál většího objemu vzduchu. Roste i délka oblouku a jeho elektrický odpor. Tím klesá protékající proud, až v určitém bodě přestane oblouk stačit živit, a ten tím pádem zanikne.

Obloukového výboje se dnes využívá ve vysokotlakých sodíkových výbojkách, které jsou součástí pouličního osvětlení. Dříve byl obloukový výboj využíván jako zdroj světla v promítacích přístrojích používaných v kinech. Může být i zdrojem tepla, a to zejména v obloukových pecích anebo při svařování.

1.2. Ionizace

U obloukových pecí se elektrická energie mění na teplo v silném elektrickém výboji, v oblouku hořícím v ionizovaném prostředí plynů a par. Vodivými se stávají ionizací, kdy dochází k rozštěpení určitého množství molekul a atomů na ionty a elektrony.

Ionizace může nastat:

- zářením (radioaktivním, rentgenovým, krátkovlnným, magnetickým)
- elektrickým polem
- vysokou teplotou

U obloukových zařízení má základní význam termoelektrická ionizace. Při ní nastává ionizace srážkami molekul, atomů, iontů a elektronů. Elektrickým působením se z atomu odtrhává jeden nebo větší počet elektronů. Tím vzniknou nové částice s elektrickým nábojem: odtržené elektrony a zbytkový iont. Při odtržení jen jednoho elektronu nastává tzv. *jednonásobná ionizace*, při odtržení více elektronů vzniká tzv. *ionizace vícenásobná*. Energie potřebná k odtržení elektronu (ionizační energie) se rovná vazebné energii v atomu. Vazebná energie je větší pro elektrony, které

jsou ve sférách bližších k jádru atomu a závisí i na stupni zaplnění příslušné sféry elektrony. Dále závisí i na pořadovém čísle prvku v periodickém systému prvků. Nejvyšší ionizační energii mají vzácné plyny se zcela zaplněnými elektronovými sférami, nejnižší mají elektropozitivní plyny, např. páry cesia.

V elektrickém oblouku získávají elektrony a ionty energii z elektrického pole mezi elektrodami. Jestliže by v prostoru mezi elektrodami nebyly těžké částice (ionty, atomy, molekuly), nastávalo by urychlení elektronů, které by svoji kinetickou energii odevzdávaly anodě, a to by se ohřívala. Jestliže jsou mezi elektrodami těžké částice, narážejí elektrony na ně. Tím se jejich kinetická energie mění na energii chaotického tepelného pohybu, nebo-li roste teplota mezi elektrodami. Nastává lavinová termická ionizace srážkami nejrůznějších částic. Zároveň roste proud, vodivost plynu a výkon přiváděný do oblouku.

Vedle ionizace vzniká neustále v horkém plynu mezi elektrodami tzv. *rekombinace*. Rekombinace nastává při srážce dvou částic s opačnými náboji. Rekombinovat mohou elektrony s kladnými, ionty nebo vzájemně kladné a záporné ionty. Při rekombinaci vznikne nejčastěji částice neutrální a uvolní se ionizační energie. Ta se využije buď pro další ionizaci, nebo se přemění na teplo. S tlakem plynu v oblouku teplota oblouku roste, protože v pohybu je více částic a nastává více srážek, rekombinací, atd. Zároveň se však při vyšším tlaku v oblouku musí zvýšit napětí na oblouku, a tím i proud oblouku a přívod výkonu do oblouku. Velmi ionizované prostředí oblouku s vysokou teplotou, se nazývá *plazma*.

Zjednodušeně lze plazmu chápat, jako směs molekul, atomů, iontů a elektronů. V plazmě obvykle nejvyšší teplotu mají elektrony. V silných obloucích ovšem nastává mnoho srážek částic, při kterých se teplota částic vzájemně vyrovnává a vzniká do určité míry tzv. *termodynamická rovnováha plazmy*.

Pokud má v oblouku nebo v plazmě vzniknout ionizace plynů, jejichž molekula je dvouatomová, musí se dodat energie na disociaci molekuly na atomy a teprve potom ještě energie ionizační. Při rekombinaci elektronů a iontů těchto plynů, až do stavu molekuly, se vedle energie ionizační uvolňuje i energie disociační, která ovšem značně přispívá k růstu energie a teploty oblouku (plazmy). [3]

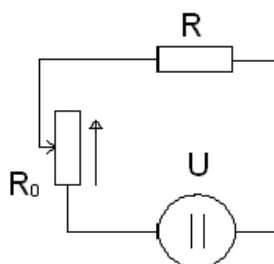
1.3. Rozdělení oblouku

Elektrické výboje lze rozdělit na nesamostatné, které potřebují ke svému udržování cizí zdroj ionizace a samostatné, které se udržují trvale vlastním zdrojem ionizace, ale potřebují cizí zdroj elektronů. Oblouky v elektrických pecích jsou samostatné výboje. Které probíhají za normálního atmosférického tlaku.

V novodobé metalurgii se používají především oblouky samostatné, které se dělí na oblouky stejnosměrné a střídavé.

1.3.1. Elektrický oblouk stejnosměrný

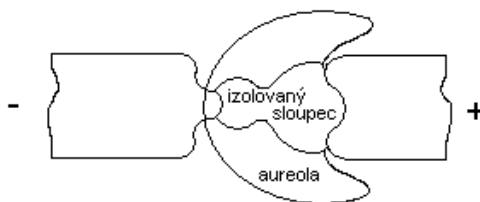
Princip stejnosměrného oblouku si popíšeme pomocí jednoduchého obvodu, jenž se skládá ze stejnosměrného zdroje, předřadného odporu a proměnného odporu, který nám znázorňuje oblouk. Celé zapojení je na obr. 1.



obr. 1 - Obvod SS oblouku

Oblouk vzniká mezi dvěma elektrodami. Katoda je zapojená na záporný pól zdroje, anoda na kladný pól. Jestliže přiblížíme obě elektrody ke vzájemnému dotyku, pak obvodem bude procházet proud I , daný veličinami obvodu U , R . Jestliže oddálíme elektrody od sebe, pak při přerušení vzájemného kontaktu začne mezi oběma elektrodami vznikat vodivá cesta. Vodivými prvky mezi elektrodami jsou ionizované páry materiálu obou elektrod a vzduchu. Vzniká elektrický oblouk. Proud obvodu se zmenšuje při narůstajícím odporu oblouku R_0 .

Obloukový výboj je složen z ionizovaného sloupce, kterým protéká proud a okolních plynů o vysoké teplotě tzv. *aureoly*. Na obr. 2 jde vidět jednotlivé rozložení oblouku.



obr. 2 - Tvar SS oblouku

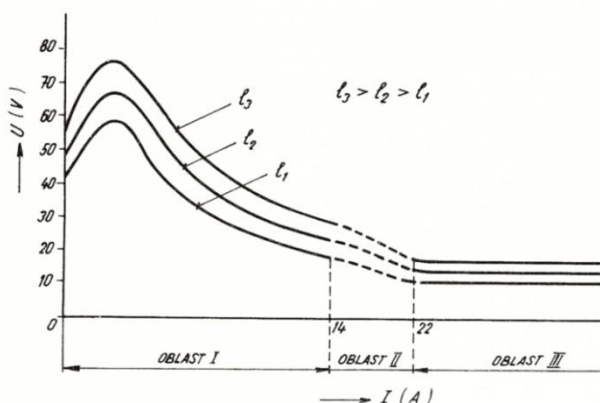
Délka výboje je dána vzdáleností elektrod (anody a katody). Při delším hoření oblouku dochází k tvarování katody do kužele a u anody se vytvoří prohlubeň v její střední části.

Bezprostředně ke katodě přiléhá tzv. *katodová oblast vodivého výboje*. Velikost této oblasti je přibližně 10^{-5} cm a nezávisí na délce oblouku. V této katodové oblasti dochází k ionizaci. Uprostřed katodové oblasti se nachází tzv. *katodová skvrna*, kde je největší hustota proudu. Hustota proudu se zde pohybuje v rozmezí 2700 A/mm^2 až 2900 A/mm^2 . Za katodovou oblastí následuje ionizovaný sloupec, tvořící nejdelší část vodivé cesty. V tomto ionizovaném sloupci se transformuje základní část elektrické energie na energii tepelnou. Za ionizovaným sloupcem se nachází anodová oblast. Velikost této anodové oblasti je nepatrná a stejně jako u katodové oblasti nezávisí na délce oblouku. Uprostřed

anodové oblasti se nachází tzv. *anodová skvrna*. Hustota proudu v této anodové skvrně se pohybuje v rozmezí 200 A/mm² až 600 A/mm². [11]

Na obr. 3 se nachází voltampérová charakteristika. Vidíme zde závislost proudu a napětí pro tři různé délky oblouku l_1 , l_2 a l_3 . Přičemž oblouk s délkou l_1 je menší než l_2 a l_2 je menší než l_3 . Celý průběh můžeme rozdělit na tři části:

- oblast I – tzv. klidný oblouk
- oblast II – oblast nestability
- oblast III – tzv. hlučící oblouk



obr. 3 - VA charakteristika oblouku

Pro jednotlivé oblasti platí:

Oblast I – V této oblasti je patrné, že charakteristika klesá, takže oblouk má zápornou charakteristiku a nemůže být připojen na konstantní napětí bez předřadného odporu zapojeného do série.

$$U = a + bl + \frac{c+dl}{I} \quad (V, -, -, m, -, -, l, A) \quad (1)$$

a, b, c, d, \dots konstanty závislé na materiálu elektrod

l, \dots délka oblouku

I, \dots intenzita proudu

U, \dots napětí na oblouku

Oblast II - Jedná se o oblast nestability mezi oblastmi I a III.

Oblast III - Jestliže se pro danou délku oblouku proud zvětší, oblouk začne hučet, napětí na něm klesne a ustálí se na nové hodnotě, nezávislé na hodnotě proudu.

$$U = a' + b'l \quad (V, -, -, m) \quad (2)$$

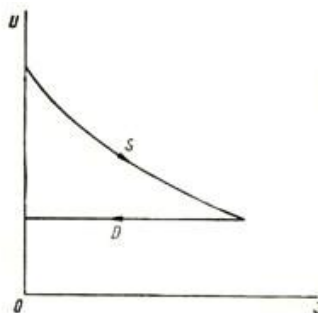
a', b', \dots konstanty závislé na materiálu elektrod, které jsou jiné než v oblasti I

l, \dots délka oblouku [3]

1.3.2. Elektrický oblouk střídavý

Způsob zapalování a vytváření střídavého elektrického oblouku je obdobný jako u oblouku stejnosměrného. Hlavní odchylkou jsou periodické změny polarity napětí a proudu, které nastávají dvakrát za jednu periodu. Nevýhoda, měnění polarity elektrod, je zvláště patrná při přebírání funkce katoda-anoda u elektrod ocelářských v tavicích obloukových pecích. Přitom vždy katoda předchází pŕlvlny chladne a nová katoda se musí ohřívát. Kromě toho však vzrůstá napětí na elektrodách, což má za následek urychlování elektronů vylétajících z nové katody. Je-li tento druhý pochod časově předřazen chladnutí, které počíná přerušením proudu původní katody, pak elektrický oblouk bude hořet spojitě a klidně, neboť po zaniknutí proudu při průchodu nulou, bude ihned s předstihem napětí vyvolán průtok proudu opačné polarity. Specifickou vlastností elektrického oblouku je, že při silnějším proudu potřebuje nižší napětí než při proudu slabém. Důvod je v tom, že uhlíky, resp. elektrody, mají při větší síle proudu vyšší teplotu, takže katoda emituje více elektronů do prostoru mezi elektrodami. Sám střídavý elektrický oblouk je velmi nestabilní a pro jeho správné hoření je nutno předřazovat pomocný elektrický člen.

Stejnosemřný elektrický oblouk potřebuje ke stabilizaci hoření odporník, který odstraňuje nevýhodnou vlastnost statické charakteristiky stejnosměrného oblouku. Napětí na oblouku není přímo úměrné protékajícímu proudu, takže oblouk má klesající charakteristiku tvaru hyperboly (obr. 4).



obr. 4 - Charakteristika stejnosměrného oblouku

K tomu, aby střídavý elektrický oblouk klidně hořel, je zapotřebí, aby do obvodu střídavého elektrického oblouku byla zařazena vyhovující indukčnost. Tato indukčnost však nesmí být příliš velká, aby se zbytečně nezhoršoval účinek obvodu. Kromě toho, zvláště u elektrického oblouku v průmyslových pecích, je nutno počítat též s intenzivní termoelektronickou emisí, zejména při roztavené lázni. Přidávaná je zpravidla tlumivka se železným jádrem. Pouze v mimořádných případech se volí reaktory bez železného jádra.

Výpočtem lze dokázat, že elektrický oblouk bude dobře hořet, bude-li obvod mít $\cos \varphi = 0,85$. Kromě toho však musí být zachován správný poměr mezi ohmickou a indukční složkou celkového zdánlivého odporu, přičemž poměr napětí napájecího transformátoru a napětí oblouku má být maximálně

$$\frac{U_0}{U_{tr}} = 0,54 \quad (V, V, -) \quad (3)$$

Velmi složitý je obvod střídavého elektrického oblouku u trojfázových rudně termických pecí. Kromě elektrického oblouku samého, je v tomto obvodu paralelní elektrický odpor tvořený vsázkou dotýkající se elektrod, která se počíná roztavovat.

Pro názornost vlivu indukčnosti na správné hoření střídavého elektrického oblouku uvedu dva příklady elektrických obvodů, a to obvod pouze s ohmickým odporem a obvod pouze s indukčností (obr. 5 a obr. 6).

Na obr. 5 znázorněn průběh napětí a proudu v obvodu, který má pouze ohmický odpor bez indukčnosti. Nejvýhodnější případ posunutí fáze mezi napětím U_{tr} transformátoru a proudem oblouku I je na obr. 6. Tento případ je naprosto přesně určen okamžikem, který odpovídá fázovému posunutí

$$\frac{U_0}{U_{tr}} = \sin \varphi \quad (V, V, -) \quad (4)$$

přičemž z dále uvedeného vzorce plyne, že $\cos \varphi$ bude tím větší, čím bude větší poměr

$\frac{U_0}{U_{tr}}$, neboť $\cos \varphi = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{U_0}{U_{tr}}$, to je, čím bude větší úbytek napětí na oblouku.

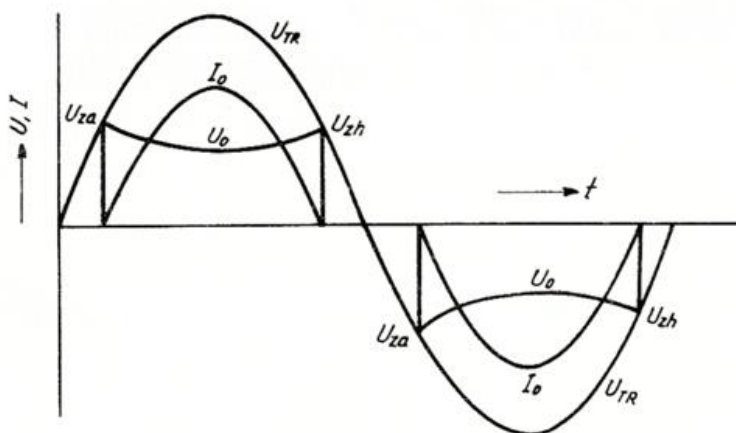
Poněvadž však

$$\sin \varphi = \sqrt{1 - \cos^2 \varphi} = \sqrt{1 - \left(\frac{\pi}{2} + \frac{U_0}{U_{tr}}\right)^2} \quad (-, U, U) \quad (5)$$

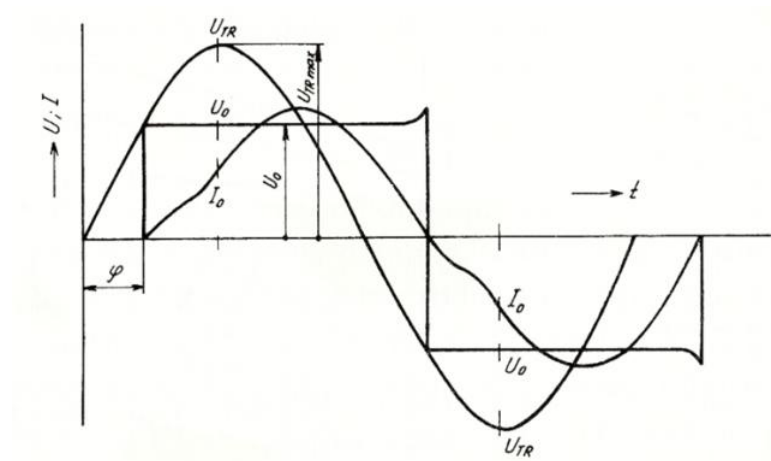
Vychází

$$\cos \varphi = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{U_0}{U_{tr}} \leq \frac{\pi}{2} \cdot 0,54 > \frac{\pi}{2} + \frac{U_0}{U_{tr}} = 0,85 \quad (-, U, U) \quad (6)$$

Ve skutečnosti nesmí překročit poměr $\frac{U_0}{U_{tr}} \leq 0,54$, jak bylo uvedeno i při kompletním praktickém obvodu. [6]



obr. 5 - Střídavý oblouk obvodu s ohmickým odporem



obr. 6 - Střídavý elektrický oblouk s indukčností

2. Elektrická oblouková pec

Elektrické obloukové pece, lze podle ohřívání lázně, rozdělit na pece s přímo působícím obloukem, a to buď odkrytým anebo zakrytým, a pece s nepřímo působícím obloukem. V poslední době byly vyvinuty další druhy speciálních obloukových pecí: elektrické obloukové pece na vakuové přetahování a pece indukčně obloukové [6].

V dnešní době můžeme obloukovou pec považovat za nezastupitelný stroj. Slouží nám jednak pro natavení železného šrotu, tak i pro úpravu jednotlivých chemických vlastností slitin. K jejich rozšíření určitě přispěli jednotlivé výhody. Mezi základní můžu vyjmenovat:

- Vysoká účinnost pece, která je způsobena přímým přenosem tepla do vsázky. Vsázka se pak následně rychleji zahřívá, a v důsledku toho potřebujeme méně elektrické energie k jejímu roztavení
- Další z vlastností, je velká flexibilita. Oblouková pec se může jednoduše odstavit a následně podle potřeby velice rychle uvést do provozu.
- Obsluha pece je jednoduchá a vesměs automatická.
- Jednodušší údržba, jednotlivé komponenty obloukové pece jsou velice spolehlivé a jednoduše přizpůsobitelné podle jednotlivých požadavků.
- Mezi hlavní výhodu bych zařadil čistotu jednotlivých slitin, jelikož elektrický oblouk není zdrojem znečišťujících látek.
- Pružné řízení a regulace teploty v sázce.

Oblouková pec má ovšem i nevýhody:

- Má rušivé vlivy na napájecí soustavu.
- Odebírá značné výkony, které jsou koncentrovány na malém území, což klade nároky na elektrickou soustavu.
- Mezi nevýhodu můžeme v dnešní době zařadit i cenu elektrické energie.

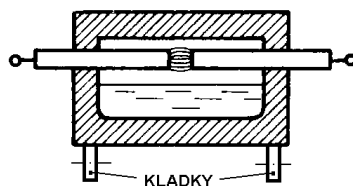
I přes jednotlivé nevýhody u obloukových pecí převažují její výhody, proto lze jednoznačně usuzovat, že se obliba těchto pecí bude jen zvětšovat.

2.1. Jednotlivé druhy obloukových pecí

2.1.1. Pece s nepřímo působícím obloukem

Jedná se o pece, kde oblouk hoří poblíž ohříváného předmětu a teplo, které oblouk vyvine je tělesu předávané pomocí sálání (obr. 7). Jedná se o takzvané bodové ohřívání, kde se nahřívá jen povrch předmětu a do hlubších částí ohříváného předmětu se dostává teplo už jen vedením. Což má za následek pomalejší ohřev a větší spotřebu elektrické energie. Mezi výhody můžeme zařadit, menší

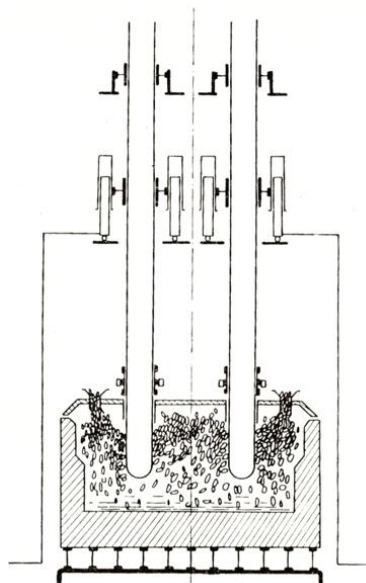
náklady na pořízení stroje, jejich jednoduchost, pružnost a výhoda tavby neželezitých materiálů. Mezi nevýhody patří opotřebení vyzdívky, velikost vsázky, která se pohybuje do 3 tun, často dochází k lámání elektrod, které jsou umístěné vodorovně.



obr. 7 - Pec s nepřímo působícím obloukem na vsázku

2.1.2. Pec se zakrytým obloukem

Jedná se o peci, kde elektrody jsou ponořené do roztavené strusky a zasypány směsí rud a příměsí. Oblouk je tedy zakryt pod touto vrstvou. Vsázka se zahřívá jednak teplem z oblouku, ale také i odporovým teplem, které vzniká při průchodu proudu přes elektrody a roztavenou strusku. Tyto pece mohou být otevřenou anebo uzavřenou pecní vanou. Takovou pec můžeme vidět na obr. 8.



obr. 8 - Pec se zakrytým obloukem

2.1.3. Pec s přímým obloukem

V pecích s přímo působícím obloukem (obr. 9) nastává přímým ohřev lázně, neboť oblouk se vytváří mezi elektrodami a lázní. Elektrody jsou umístěny svisle. Při tomto způsobu ohřevu vsázky působí oblouk přímo na tuto vsázku a může ji tak předat větší množství tepelné energie než v pecích s nepřímo působícím obloukem. Rovněž tepelné ztráty jsou u těchto pecí menší. Svislé uspořádání elektrod je výhodnější, jsou méně namáhány a jejich utěsnění a údržba je jednodušší.

Rozeznáváme pece s průtokem proudu pod hladinou kovu, nebo-li takzvané pece s nevodivou nístějí, a pece s průtokem proudu mezi taveninou a elektricky vodivou nístějí, takzvané pece s vodivou nístějí.

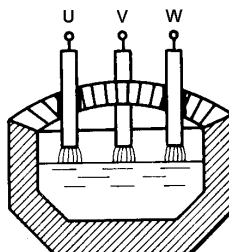
U pecí s nevodivou nístějí, prochází proud elektrodou a obloukem přes strusku do taveniny a zpět struskou a přes oblouk do druhé elektrody. Proud tedy neprochází dnem pece. Většina moderních ocelářských pecí pracuje s tímto systémem.

U pecí s vodivou nístějí prochází proud elektrodou a obloukem do strusky a kovové taveniny, odtud však na dno pece a na půdní (podlažní) elektrodu. Proud se přivádí k horním elektrodám i k půdní elektrodě, a prochází ve svislém směru celou lázní. V těchto pecích se lázeň ohřívá stejnoměrněji, neboť se prohřívá shora i zdola. Kromě toho v nich nastává i určitý pohyb lázně, a tím se chemické reakce urychlují.

Pece s vodivou nístějí se rozšířily v době, kdy ještě nebyla vyvinuta dokonalá regulace, neboť i bez ní dobře pracovaly. Poněvadž mají menší výrobnost než pece s nevodivým dnem a je u nich značné nebezpečí protavení dna, v poslední době se přestaly používat.

Pece s odkrytým obloukem, u nichž oblouk hoří nad vsázkou, slouží k rafinaci oceli, popřípadě k výrobě kvalitní šedé litiny. Jsou sklopné a mají automatickou regulaci elektrod. U pecí se zakrytým obloukem hoří oblouk pod vrstvou vsázky, která obklopuje elektrodu. Vsázka se ohřívá jednak teplem oblouku, jednak Joulovým teplem.

Pec se zakrytým obloukem se používá k výrobě surového železa, popřípadě syntetického surového železa a k výrobě feroslitin, kde je nutné dosahovat vysokých teplot. Proti působení elektrického oblouku je vyzdívka pece chráněna vrstvou nevyredukované vsázky. [6]



obr. 9 - Pec s přímým obloukem

2.1.4. Pece na vakuové tavení

Tyto obloukové pece jsou určeny pro výrobu vysoce jakostních kovů a slitin, s malým obsahem plynů a nekovových příměsí. Kovy se v nich obvykle vyrábějí tavením v inertní atmosféře nebo ve vakuu. Jsou známy 2 druhy obloukových pecí na vakuové tavení:

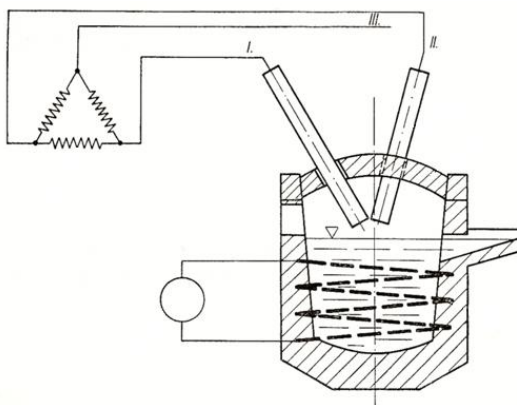
- pece s odtavnou elektrodou
- pece s chlazenou wolframovou elektrodou

U pecí s odtavnou elektrodou slouží elektrody jako ingoty z kovu nebo slitiny kovu, které chceme tavit. Tavicí prostor nemá žáruvzdornou vyzdívku, nýbrž je tvořen měděným krystalizátorem chlazeným vodou. [6]

2.1.5. Pece indukčně obloukové

Tyto pece mohou být upraveny jako pece s přímo působícím obloukem i jako pece se zakrytým obloukem. K indukčnímu promíchávání lázně slouží tři vodou chlazené póly a cívky nízké frekvence, uspořádané po 120°.

V těchto pecích nastává podstatné urychlení všech reakcí kovu se struskou vlivem indukčního promíchávání lázně. Jednoduché schéma takovéto pece jde vidět na obr. 10. [6]



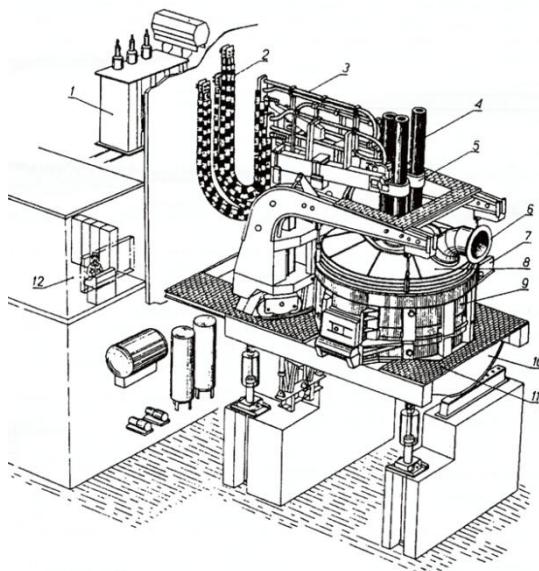
obr. 10 - Indukční oblouková pec

V této diplomové práci se zabírám o klasickou obloukovou pec s přímo působícím obloukem na lázeň. Proto se zaměřím na popisování jednotlivých částí právě této obloukové pece.

2.2. Popis obloukové pece

Konstrukce jedné z nejrozšířenějších 3-fázových pecí je na obr. 11. Tyto pece dosahují vsázek v rozmezí od 80 do 150 tun a jejich výkon se pohybuje až do 200 MV·A. Což odpovídá jednotkovému výkonu v rozmezí 800 až 1000 kW·A/t. Při takových výkonech dosahuje délka tavení přibližně 60 až 150 minut.

Pec obsahuje pecní transformátor (1), ohebnou část krátké cesty (2), přes kterou tečou značné proudy a je velice často chlazená vodou. Dále pak pevnou částí krátké cesty obsahující trubky chlazené taktéž vodou (3), elektrodami (4), které jsou uchycené pomocí držáku elektrod s automatickou regulací zdvihu (5). Pecní vanou (9), která je usazena na plošině (11) s kolébkou (10). Tato kolébka obstarává náklon potřebný při odpichu, který se provádí přes odpichový žlab (7). Na vaně je usazeno víko, které je otočné (8) pro plnění vany vsázkou. Na tomto víku je pak umístěný odsávač plynu a prachu (6). Celá pec je pak řízená z řídícího stanoviště (12).



obr. 11 - Třífázová oblouková pec

V příloze na straně 45 a 46 se nachází dvě fotografie EOP č. 5 společnosti VÍTKOVICE HEAVY MACHINERY a.s.

2.3. Elektrický obvod obloukové pece

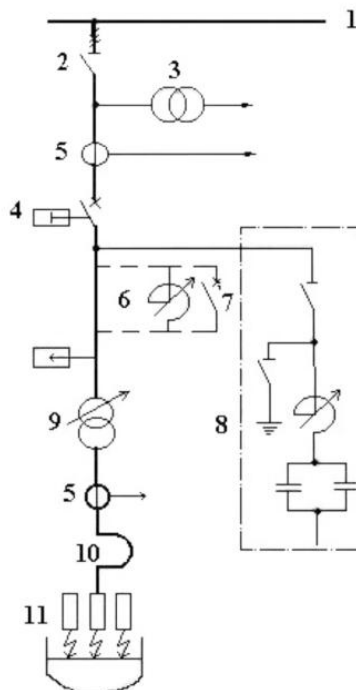
Energetická náročnost u obloukových pecí je jedna z největších, se kterou se v průmyslu můžeme setkat. Navíc pece mohou pracovat s velkým rozdílem aktuálně používaného výkonu. Spotřebu elektrické energie při výrobě oceli v obloukové peci je možné měnit od 500 do 1000 kWh/t, při teoretické spotřebě pohybující se v rozsahu od 340 do 370 kWh/t. [5] Při takových velikostech výkonu mohou být ztráty dosti značné. Ztráty vznikají především v krátké cestě, přes kterou protékají tisíce ampér. Další ztráty mohou ovlivnit kvalita vyráběné oceli, způsob tavby, stav vyzdívky, mimo jiné i konstrukce samotné pece.

Jedná z nejlepších cest pro omezení těchto ztrát a snížení nákladu na výrobu je optimalizace chodu pece. Tuto optimalizaci nám velice usnadňuje výpočetní technika, která pomocí čidel shromažďuje údaje o teplotách, výkonech, velikosti vsázky a podobně. Tyto údaje následně vyhodnocuje, sestavuje kruhové diagramy a pracovní charakteristiky.

Kruhový diagram je geometrickým vyjádřením proudu oblouku a pracovní charakteristiky zachycují závislosti mezi základními elektrickými, tepelnými a pracovními veličinami a proudu oblouku. [5]

Při sestavování těchto charakteristik je zapotřebí znát jednotlivé parametry obloukové pece. Tyto parametry můžeme vyčíst z podkladů pece, které dodává výrobce. Na obr. 12 je základní schéma elektrického obvodu obloukové pece. Napájení (1) je prováděno nejčastěji pomocí třífázového VN vedení o hladině 22 kV, pokud je to z ekonomického hlediska výhodné, můžeme se setkat i s napájením na VVN hladině nebo s jednofázovým u pecí s malým výkonem. Napojení na síť je provedeno přes odpojovač (2), za odpojovačem se nachází měřicí transformátor napětí (3) a proudu (5) a následuje výkonový vypínač (4). Tento vypínač je velice namáhán, spíná 25krát až 50krát za směnu.

U pecí s výkonem do cca 10 MV·A se zařazuje do obvodu i tlumivka (6) se spínačem této tlumivky (7). Tlumivka má za úkol stabilizovat oblouk a ohraničuje zkratové proudy. Krátká cesta (10) spojuje sekundární vinutí pecního transformátoru (9) s elektrodami (11) [5]. Jelikož samotný oblouk ke své co největší účinnosti a stabilnímu chodu potřebuje $\cos \varphi = 0,85$. Taková hodnota je pro připojení do sítě velice nevhodná, proto se používají kompenzace tohoto účinníku (8). Velice se často i filtrují vyšší harmonické.



obr. 12 - Elektrický obvod obloukové pece

2.3.1. Hlavní vypínač

Hlavní vypínač je jednou z nejvíce namáhaných elektrických součástek. Jak už bylo řečeno, spíná 25krát až 50krát za směnu. Takto vysoká pracovní činnost, klade nároky na jeho spolehlivost. Nejčastěji je vakuový, maloolejový, nebo tlakovzdušný. Může mít však i jiné chlazení oblouku. U vypínače musí být také stoprocentně zaručené, že vypne zkratový proud.

2.3.2. Vysokonapětový odpojovač

Vypínač nám slouží k připojení jak tlumivky, tak přírodních vedení k pecnímu transformátoru. Bývají ruční nebo tlakovzdušné.

2.3.3. Tlumivky

S tlumivkou se setkáme zejména u malých pecí od 10 do 15 tun, kde slouží k stabilizaci oblouku a tlumení proudových rázů. Setkat se s ní můžeme i u velkých pecí, kde má několik stupňů, mezi kterými můžeme přepínat a tím ovlivnit průběh tavby. Tlumivka je zdrojem indukční reaktance,

čímž zvyšuje indukční odpor a snižuje ohmický odpor. Její hodnota je ovlivněna zejména parametry krátké cesty (délka, odpor, atd.). V době natavování se používají vyšší stupně nastavení tlumivek. To z toho důvodu, aby i v tomto stádiu byl zaručen, co nejlepší poměr indukčního a ohmického odporu.

Tlumivky jsou konstruovány obdobně jako transformátory s rozdílem v jádře, kde se nachází vzduchová mezera pro zvýšení rozptylu magnetického toku. Jsou chlazeny vzduchem, nebo olejem.

2.3.4. Transformátory

Jelikož odebírané výkony u obloukových pecí jsou dosti značné, jsou připojovány na VN síť případně na VVN síť. Pokud bychom takové napětí přivedli na elektrody přímo, nastal by nám neřízený oblouk, který by v takto silně ionizovaném prostředí přešel v třífázový zkrat. Tento průběh je, ale pro nás nežádoucí, proto se napětí musí transformovat na takové napětí, které nám zaručí, aby oblouk hořel mezi elektrodami a lázní.

Ke snížení tohoto napětí nám slouží pecní transformátory, nejčastěji se jedná o třífázové. U menšího výkonu se můžeme setkat i s jednofázovými transformátory. Jedná se o statické stroje, které pro svou činnost nepotřebují pohyblivé části, navíc mají velkou účinnost. Můžeme je považovat za dostatečně spolehlivé a k provozu postačuje pravidelná revize. Transformátor má primární a sekundární stranu. Tyto dvě strany vinutí mohou být uspořádány hned několika způsoby.

- Odděleně – každé vinutí se nachází na jiném sloupku
- Společně – vinutí jsou na jednom sloupku
- Koncentricky

Vinutí (cívky) transformátoru mohou být válcová nebo kotoučová. U válcových je vrstva vinutí cívky roztažena po délce jádra ve tvaru válce, kdežto u kotoučového typu tvoří vinutí úzká spirála, jejíž závity jsou uloženy nad sebou. Každé vinutí se skládá z jedné cívky nebo řady cívek spojených do série.[6]

Popsané typy transformátorů mají rozdílnou mechanickou odolnost při zkratech. Válcové provedení je obvyklejší u jádrových typů. Jejich nevýhodou je, že cívky jsou při zkratech na krajích namáhány ohybem.[9]

Obloukové pece jsou jedna z malá míst, kde se vyskytuje velké množství zkratů. Tyto zkraty jsou způsobeny dotykem elektrod a vsázky při jejím natavování. Zkraty velice zatěžují všechny elektrické části pece. I u transformátoru musíme s jejich přítomností počítat a patřičně navrhnout jeho jednotlivé části, zejména pak chlazení.

U malých výkonů postačuje vzduchové chlazení, ale vyskytuje se jen zřídka. Nejčastěji se setkáváme s olejovým. Vinutí je do olejové lázně ponořené a vzniklé teplo je pak tímto olejem odváděno do žebor. Tyto žebra jsou pak chlazena vzduchem. Proudění vzduchu je obstaráno samovolnou cirkulací, nebo nuceným ofukem. Výhodou tohoto chlazení je jednoduchost, nevýhodou pak je nižší účinnost a nutnost přivádět čistý vzduch bez prachu, který by při nahromadění snižoval účinnost. Z tohoto důvodu se v znečištěném prostředí používá místo ofuku vzduchem, vodní chlazení. Toto chlazení je menší, jelikož voda má lepší tepelné vlastnosti než vzduch a tudíž i větší účinnost.

Transformátor může být používán i za velmi teplých letních dnů, kde by vzduchové chlazení bylo nedostačující.

Při zkratech je velice zatěžováno vinutí, na které působí velké dynamické síly. Vinutí na sekundární straně je zpravidla zapojeno do trojúhelníku. Takto propojené vinutí má výhodu ve filtraci harmonických a rozložení jednotlivých výkonů souměrně do všech tří fází.

Primární vinutí může být zapojeno následovně [9]:

- do hvězdy, která se označuje na straně vysokého napětí (VN) Y, na straně nízkého napětí (NN) y (pokud je vyveden střed vinutí, přidává se za označení ještě písmeno N, popř. n; za tuto značku se připojuje číslice, která udává hodinový úhel, tj. fázové posunutí)
- do trojúhelníku, označovaného na straně VN jako D, na straně NN jako d
- do lomené hvězdy – Z, popř. z

Pro optimální chod obloukové pece musíme měnit napětí na sekundární straně, pro tento účel nám slouží odbočky, mezi kterými přepínáme a tím ovlivňujeme výstupní napětí. Odbočky jsou na primární straně z důvodu jednoduššího přepínání. Pokud by se nacházely na sekundární straně, bylo by konstrukčně velice náročné jejich přepínání, z důvodu procházení velice vysokých proudů. Používá se skoková regulace, jelikož jemná regulace je neopodstatněná. Minimálně se setkáme se čtyřmi odbočkami.

2.3.5. Krátká cesta

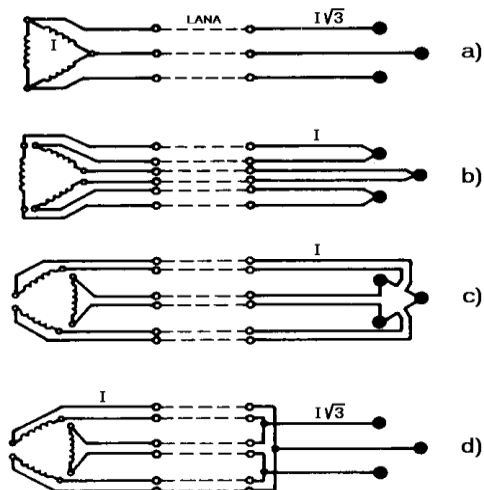
Krátkou cestu můžeme definovat jako vodiče mezi průchodkami transformátoru a držáky elektrod. Jedná se o vodiče jednak pevně uložené na ramenech automatické regulace, tak i pásovinou a ohebnými lany.

Při přenosu velkého výkonu při nízkém napětí, které se získá v transformátoru, způsobují činné a jalové odpory v celé délce krátké sítě velké ztráty. Aby se snížily, musí být délka obvodu co nejkratší. Tato podmínka je závažná zejména při přenosu velkých výkonů a musí se neustále sledovat při navrhování elektrického zařízení obloukové pece. Činný odpor krátké sítě lze snížit zvýšením průměru vodičů nebo tím, že se použije místo jednoho větší počet paralelních vodičů. Nevýhodou tohoto řešení je, že vlastní indukčnosti a vzájemnou nesouměrností vodičů vznikají v jednotlivých fázích reaktanční složky, které způsobují potíže při hoření oblouku v jednotlivých fázích. Při velkých výkonech se vodiče chladí vodou, protože se tím zvyšuje jejich proudová zatížitelnost a zmenšuje se průřez. Zmenšením průřezu vodičů se sníží i hmotnost, tím klesá mechanické namáhání ramen.[9]

Kromě značných ohmických ztrát, dochází při přenosu velkých proudů v krátké síti při relativně malé vzdálenosti vodičů, k vzájemnému ovlivňování jejich indukčnosti, a tím ke značnému rozdílu v přenosu energie v jednotlivých fázích. Při uspořádání vývodů v rovině udává střední fáze největší výkon, označuje se proto jako „ostrá fáze“. Jedna z vnějších fází má naopak nejmenší výkon,

takže se nazývá „mrtvá fáze“. Proto se snažíme vyloučit indukční vlivy různým sestavením krátké sítě. Nejméně příznivé je uspořádání v rovině [4].

Na obr. 13 jsou schémata z několika možných druhů provedení krátké cesty. Ve schématech a) až d) je naznačeno výstupní vinutí pecního transformátoru zapojené do trojúhelníku, což je prakticky vždy. Rozdíl však je v tom, kde je toto vinutí skutečně do trojúhelníku spojeno. Na obr. 13a) je spojeno těsně v transformátoru nebo na víku transformátoru. Na obr. 13b), c) je spojeno až na elektrodách. Na obr. 13d) je spojeno za ohebnými lany, takže po ramenech elektrod prochází sdružený proud pouze třemi vodiči [3].



obr. 13 - Rozdílná zapojení krátké cesty

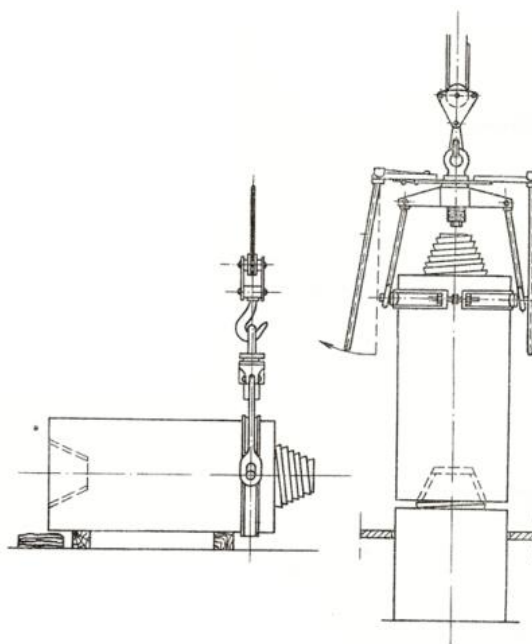
Elektrody jsou posledním článkem krátké cesty. Jsou upevněny do držáku, který se skládá z pevné a pohyblivé části. Pohyblivá část slouží k regulaci výkonu na oblouku, který je úměrný délce oblouku. Ramena obsahují přitlačné pružiny, které obstarávají trvalý dotyk a jsou ovládána pomocí hydraulického, pneumatického, nebo elektromechanického pohonu. Z vyjmenovaných možností je nejlepší hydraulický systém, jelikož kapaliny jsou nestlačitelné, dochází k velice rychle a přesné regulaci. Ramena jsou vyrobena z nemagnetického materiálu, tento důvod je jednoznačný. Nedochází k magnetizaci a vytvoření vířivých proudů a hysterezních ztrát. V blízkosti uchycení elektrod dochází k ochlazování těchto elektrod pomocí vody, tím se zvyšuje jejich životnost.

Spojení elektrod s držáky musí být velice kvalitní, protože v elektrodách a jednotlivých kontaktech se ztrácí asi 10% z celkové energie. Další nároky na elektrody, je malá teplotní roztažnost, nízký odpor a vysoká vodivost. Do vsázky nesmí přidávat při tavení nežádoucí příměsi. Samozřejmě musí být dostatečně pevné a neměly by se poškodit při jakékoliv manipulaci. Nejčastěji mají válcový tvar a jednotlivé nové elektrody se šroubují na již zavedené elektrody do pece, tak aby bylo zaručeno vzniku minimálního zbytku těchto elektrod viz. obr. 14.

Materiály, ze kterých jsou elektrody nejčastěji vytvořeny, můžeme rozdělit do tří základních:

- Elektrody uhlíkové

- Elektrody grafitové
- Elektrody násypné (Soderbergovy)



obr. 14 - Upevňování nových elektrod

Uhlíkové elektrody se vyrábějí ze směsi antracitu, koksu, přírodního grafitu a pryskyřice, vypalováním při teplotě 1200 °C – 1300 °C. Uhlík se netaví ani při teplotě elektrického oblouku, pouze se pomalu oxiduje. Uhlíkové elektrody se někdy používají u malých obloukových pecí pro výrobu uhlíkové oceli běžné jakosti a feroslitin. Měrný elektrický odpor uhlíkových elektrod klesá lineárně se vzrůstající teplotou. Grafitové elektrody vzniknou při dlouhodobém vypalování uhlíkových elektrod při teplotách až 2700 °C. Uhlík se přemění v grafit. Násypné elektrody se používají při velkých průměrech elektrod nad 500 mm. V tomto případě se nasypává směs, používaná k výrobě uhlíkových elektrod, do roury svařené z plechu a udusává se přímo nad pracující částí elektrody. Proces vypalování probíhá za provozu. Jejich cena je jen 1/3 ceny uhlíkových elektrod. [5]

2.4. Kompenzace účinníku

Během tavy silně kolísá účinník ($\cos \varphi$). Protože je při $\cos \varphi = 0,7$ odběr jalového činného proudu stejně velký, snažíme se účinník maximálně zvýšit. Až do šedesátých let se připouštěl $\cos \varphi$ 0,82 až 0,85. Tato hodnota představovala přijatelný kompromis mezi elektrickým výkonem a stabilitou oblouku, protože u obloukových pecí umožňuje nízký $\cos \varphi$ udržovat krátký oblouk. Při natavování se však délka oblouku stále mění, podle toho jak se vsázka sesouvá a vznikají zkraty. Ačkoli přitom zůstává činný výkon relativně stejně velký jako jalový, kolísá zdánlivý výkon v širokých mezích. Tyto anomálie způsobují výkyvy napětí v síti a mají nepříznivý vliv na ostatní odběratele. Kolísání napětí nelze zcela odstranit. Lze ho však omezit na přijatelnou míru připojením na

tvrdou síť, tj. na nejvyšší dosažitelné a ekonomicky odůvodnitelné napětí. Ke stabilizaci napětí přispívá také kompenzace, která může být přímá a nepřímá.

U přímé kompenzace se induktivní složka vyrovnává změnou kapacit, u nepřímé se doplňuje kolísající jalový výkon na konstantní hodnotu (tj. kompenzuje se) neproměnnými bateriemi. Druhý způsob se používá u malých pecí. [2]

U obloukových pecí se nejčastěji setkáme se statickou kompenzací, která má několik výhod oproti rotačním kompenzátorům.

Ukazatelem provozu elektrické obloukové pece je účinník, který udává podíl celkového proudu a činné složky. Při správné kompenzaci je u obloukových pecí 0,85 až 0,90. Další zvyšování účinníku je výhodné pouze tehdy, pokud je cena za energii vyšší než pořizovací náklady zařízení.

2.5. Rušivé vlivy elektrické obloukové pece

Jak už bylo několikrát zmíněno, oblouková pec je jedním z největších odběratelů elektrické energie koncentrované na malé území. Při provozu často vznikají zkrat, nesymetrie, kolísání napětí a podobně. Z toho vyplývá, že oblouková pec je zdrojem velkého rušení, které se přenáší na rozvodnou síť, což pro provozovatele této sítě není příjemná záležitost. Proto, aby provozovatel obloukové pece byl „motivován“ tyto rušivé elementy co nejvíce omezovat, existuje smluvní ošetření těchto rušivých elementů a při překročení dohodnutých hranic je pak provozovatel obloukové pece pokutován.

Mezi hlídané parametry patří zejména flikr, napěťová a proudová nesymetrie, napěťové a proudové kolísání, výskyt harmonických proudů, čtvrt hodinová maxima, dohodnutý hodinový odběr plánovaný na dva dny dopředu a $\cos \varphi$. Poslední tři jmenované vlivy jsou společnosti VÍTKOVICE HEAVY MACHINERY a.s. hlídané a udržované v dohodnutých mezích. Za jejich překročení je pak následně pokutována. Ostatní rušivé vlivy jsou hlídány a udržovány v jiných částech společnost Vítkovice a.s. jako celku.

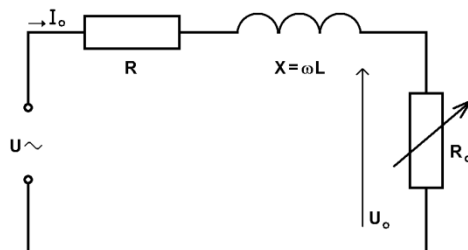
2.6. Elektrické parametry obloukové pece

Pokud chceme navrhovat jakékoliv změny v nastavení, abychom změnili výsledné parametry pece, pak se nejdříve musíme detailně s těmito parametry seznámit. A až pak můžeme jednotlivé prvky přizpůsobovat tak, abychom snížili spotřebu vstupujících surovin při zachování stejného anebo lepšího výsledku při nižších nákladech.

2.6.1. Kruhový diagram

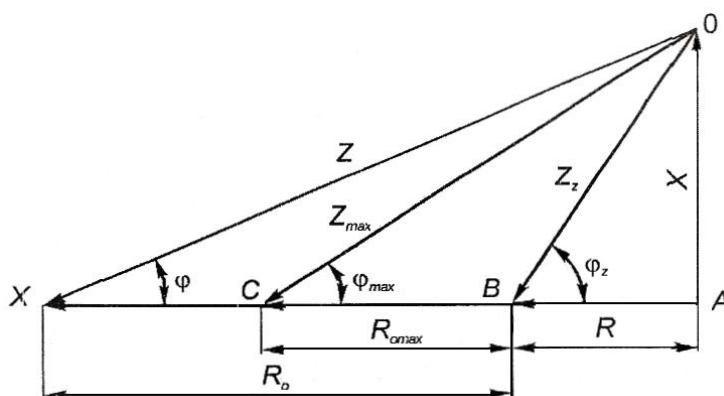
Pro tento účel je nejlepší sestavit kruhový diagram obloukové pece, který je pro každou pec odlišný. Pro sestavení tohoto kruhového diagramu musíme znát základní parametry obloukové pece, které získáme měřením. Kruhový diagram se dělá pro různé pracovní stavy, při různých stupních odboček na transformátoru a také na tlumivce. Výsledky nám následně pomohou optimalizovat celkový chod pece. Kruhový diagram se pouze dělá pro jednu fázi. Náhradní schéma jedné fáze obloukové pece je na obrázku obr. 13. Jednoduše řečeno, kruhový diagram se sestavuje pro jednu fázi,

pro danou napěťovou odbočku a pro první harmonickou, která dodává jako jediná výkon, protože vyšší harmonické k sobě nemají napětí.[9] Pro jednotlivé veličiny se volí měřítka, které nám pak usnadňují odečítání jednotlivých veličiny. Mezi tyto veličiny patří činný a jalový výkon, proudy, účinnost a podobně.



obr. 15 - Náhradní schéma jedné fáze obloukové pece

Rezistence oblouku R_o , zakreslená jako podíl napětí oblouku a proudu oblouku, je proměnlivá. Její hodnota se může měnit od nuly (v případě zkratu, kdy se elektrody dotýkají vsázky) až do nekonečna (kdy obvod je přerušen a oblouk nehoří). Elektrickému obvodu z obr. 15 odpovídá vektorový diagram impedancí zobrazený na obr. 16. Z_z označuje zkratovou impedanci, tedy stav, kdy je elektroda zkratována se vsázkou ($R_o = 0$). Proud obvodu je tehdy roven proudu nakrátko I_z [5].



obr. 16 - Vektorový diagram impedancí elektrické obloukové pece

Impedance nakrátko určuje proud nakrátk. Pracovní bod se pohybuje po přímce BX v závislosti na velikosti odporu oblouku.

Odpor pece pak určuje i okamžitou hodnotu impedance pece:

$$Z = \sqrt{(R + R_o)^2 + (\omega L)^2} \quad (7)$$

kde R_o . . . proměnlivá hodnota odporu oblouku

Z vektorového diagramu je možno určit i účinník pece. Pro hodnotu $\cos \varphi_K$ – nakrátko platí: $R_o = 0$

$$\cos \varphi_K = \frac{R}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} \quad (8)$$

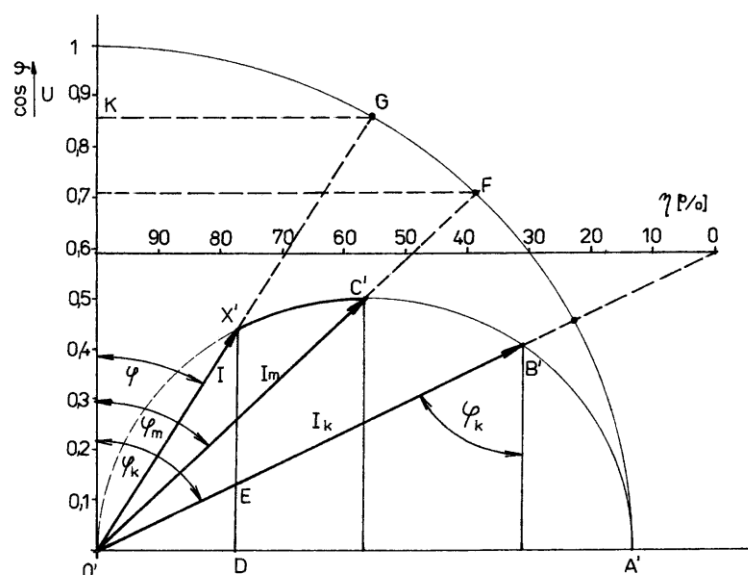
Pro libovolný pracovní bod označený X platí:

$$\cos \varphi = \frac{R + R_o}{\sqrt{(R + R_o)^2 + (\omega L)^2}} \quad (9)$$

Proud oblouku je nepřímo úměrný proměnlivé hodnotě impedance Z :

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{U}{\sqrt{(R + R_c)^2 + (\omega L)^2}} \quad (10)$$

Předpokládáme-li, že při provozních zkratech pracují magnetické materiály obvodu (tlumivka, cívky transformátoru, vodiče-konstrukce) v přímé části magnetizační charakteristiky. Jednotlivé reaktance X nezávisí na procházejícím proudu. Stejně tak i konstantní část činných odporů R (kromě odporu oblouku) nezávisí na procházejícím proudu. Za tohoto předpokladu se koncové body vektorů proudu pro různé hodnoty odporu oblouku R_o budou pohybovat po kružnici.



obr. 17 - Kruhový diagram

Na obr. 17 je kružnice s vyznačenými body A', B', C', X', O'. Tyto body jsou ekvivalentní převrácené hodnotě impedance Z, která se mění v závislosti na hodnotě odporu oblouku R_o .

Bodu A na obr. 16 odpovídá bod A' na kružnici obr. 17. Úsečky $OB = Z_K$ obr. 16 odpovídá úsečka O'B', vyjadřující proud nakrátko. Úsečky OC obr. 16 odpovídá úsečka O'C' obr. 17. Bod C' označuje maximální výkon pece. Úsečky OX obr. 16 tj. libovolný proud oblouku, odpovídá úsečka O'X' v kruhovém diagramu. Konverguje-li odpor oblouku k nekonečnu, dostáváme se při přerušení oblouku do bodu O' na kruhovém diagramu.

Kruhový diagram je vhodný pro vyznačení mnoha provozních parametrů obloukové pece. Svislé ose můžeme přiřadit napětí U , tehdy úhly φ_k , φ_m , φ jsou fázovými posuny mezi napájecím

napětím (sekundární strany transformátoru) a odpovídajícími proudy I_o . Jestliže úsečkou O'A' vykreslíme kruh a úsek O'E kolmý na O'A' rozdělím na 10 stejných dílů, pak na ose O'E můžeme odečítat účinník $\cos \varphi$ odpovídající pracovnímu bodu X'. V tom případě pro vybraný proud např. I_o musíme úsek O'X' prodloužit tak, aby se protnul s kruhem O'A'FGE (bod protnutí G), potom úsečka GK kolmá na O'E vykreslí na stupnici O'E hodnotu účinníku (bod K).

Elektrickou účinnost pece η můžeme také vyznačit na základě kruhového diagramu. Musíme od svislé osy (O'E) narýsovat kolmou linii. Úsečku O'B' prodloužíme do protnutí s touto linií. Vzniklý průsečík odpovídá elektrické účinnosti $\eta = 0$ (elektroda zkratovaná se vsázkou, $R_o = 0$, výkon oblouku $P_o = 0$). Jestliže tuto linii rozdělíme na deset stejných dílků, získáme měřítko elektrické účinnosti. Bod protnutí prodloužení libovolné úsečky O'X' vyznačí na tomto měřítku velikost účinnosti. Kritérium stability elektrického oblouku je poměr pracovního proudu k proudu nakrátko [5].

Na kruhovém diagramu rozlišujeme tři základní oblasti:

- oblast nestabilního chodu – úsek O'X' – dlouhý oblouk
- oblast optimálního chodu – úsek X'C'
- oblast zaručeně stabilního chodu – úsek C'B' – krátký oblouk

2.6.2. Maximální výkon pece a oblouku

Účinník obloukové pece závisí na konstantní rezistanci R a reaktanci X (obr. 15 a obr. 16) a také na měnící se rezistanci oblouku R_o . Pro dlouhé oblouky je činitel výkonu velký, blíží se jedničce (obr. 17). Na základě obr. 16 můžeme psát, že:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{X}{R + R_o} = \frac{X}{R_{\text{celkové}}} \rightarrow R_o = \frac{X}{\operatorname{tg} \varphi} - R \quad (11)$$

Činný výkon vydávaný v oblouku je určen závislostí:

$$P_o = R_o \cdot I_o^2 = R_o \cdot \left(\frac{U}{Z} \right)^2 \quad (12)$$

Po užití vztahu $Z = X \sin \varphi$ ve vzorci (11) získáme vztah:

$$P_o = \frac{U_f^2}{X} \sin \varphi \cos \varphi \frac{U_f^2 R}{X^2} \sin^2 \varphi = \frac{U_f^2}{2X} \sin 2\varphi - \frac{R}{X} \cdot \frac{U_f^2}{X} \sin \varphi \quad (13)$$

První člen vztahu (13), tzv. činný výkon odebíraný obloukem z obr. 15:

$$P_p = \frac{U_f^2}{2X} \sin 2\varphi = \frac{U_f^2}{X} \sin \varphi \cos \varphi = \frac{U_f^2}{X} \cdot \frac{X}{Z} \cos \varphi = U_f \cdot I_o \cdot \cos \varphi \quad (14)$$

Je celkový činný výkon obloukové pece dohromady se ztrátami. Jeho maxima se dosahuje při fázovém úhlu $2\varphi = 90^\circ \Rightarrow \varphi = 45^\circ$. To znamená při $\cos \varphi = 0,707$, reaktance obvodu X je rovna

$$X = R + R_o \quad (15)$$

a maximální výkon pece (pro jednu fázi)

$$P_{p \max} = \frac{U_f^2}{2X} \quad (16)$$

je dosaženo při proudu

$$I_{o \max} = \frac{U_f}{\sqrt{2X}} \quad (17)$$

Maximální výkon je tedy závislý pouze na napájecím napětí a reaktanci X . Jejího zvětšení při stálém napětí můžeme dosáhnout zmenšením indukčnosti L ($X = \omega L$) přívodů. Musíme si však uvědomit, že z hlediska stability hoření oblouku nemůžeme indukčnost L libovolně zmenšovat. [5]

Maximální výkon na oblouku $P_{o \max}$ se dosahuje při fázovém posunu $\varphi = \varphi_{\max} = 0,5\varphi_z$. Po dosazení této rovnice do vztahu (13) a zároveň využití vztahu $R_o = Z_z = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}$ získáme:

$$P_{o \max} = \frac{U_f^2}{2Z_z} - \frac{R}{2Z_z} \cdot \frac{U_f^2}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2} + R} \quad (17)$$

První část rovnice $\frac{U_f^2}{2Z_z}$ je celkový činný výkon odebíran obvodem pece při proudu $I_{o \max}$, při kterém výkon na oblouku je maximální. Tento proud vypočteme:

$$I_{o \max} = \frac{U_f}{\sqrt{2Z_z(R + Z_z)}} \quad (19)$$

Druhá část rovnice (28) je ztrátový výkon pece v oblouku pece:

$$P_e = RI_{o \max}^2 = \frac{R}{2Z_z} \cdot \frac{U_f^2}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2} + R} \quad (18)$$

Při proudu $I_{o \max}$ je celkový výkon obvodu pece samozřejmě nižší než $P_{p \max}$ (rovnice (16) a (19))

Účíník při maximálním výkonu na oblouku vypočteme ze vztahu:

$$\cos \varphi_{\max} = \cos \frac{\varphi_z}{2} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{1 + \frac{R}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}}} \quad (19)$$

Maximální účinek je tedy funkcí odporu R a indukčnosti přívodů L . Praktická hodnota účinku pro skutečné pece se pohybuje v rozmezí 0,75 až 0,8.

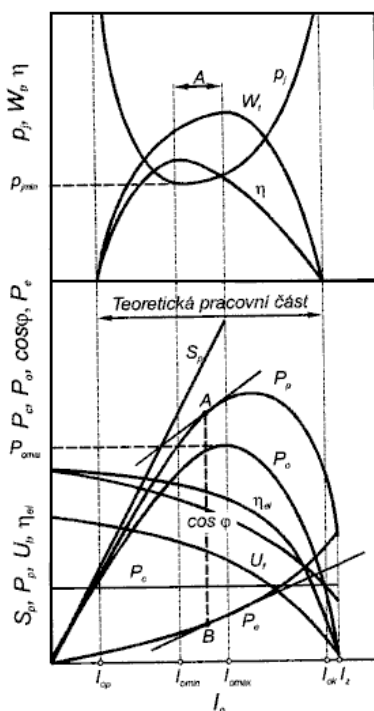
Tato analýza se vztahuje pouze pro jednu fázi symetrické obloukové pece. Skutečný objekt je však nesymetrický a jeho analýza, vyžaduje totiž mít na zřeteli například vzájemné ovlivňování mezi sousedními fázemi pece, je značně složitější od výše uvedené [5].

2.6.3. Pracovní charakteristiky obloukové pece

Pracovní charakteristiky obloukové pece (obr. 18) vykrešlují závislosti parametrů elektrických, tepelných a provozních v závislosti na proudu I_0 .

Do těchto parametrů patří:

- činný výkon pece P_p (rovnice (14))
- činný výkon na oblouku P_o (rovnice (12) i (13))
- ztrátový elektrický výkon $\Delta P_{\text{ztrátové}}$ (ztrátový výkon v přívodu) (rovnice (20))
- účinník $\cos \varphi$ (rovnice (9))



obr. 18 - Pracovní charakteristika obloukové pece

elektrická účinnost η_{el}

$$\eta_{el} = \frac{P_0}{P_p} \quad (20)$$

elektrotermická účinnost η

$$\eta = \eta_{el} \eta_c = \frac{P_0 - P_c}{P_p} \quad (23)$$

příčemž tepelná účinnost:

$$\eta_c = \frac{P_0 - P_c}{P_0} \quad (24)$$

zdánlivý výkon S_p

$$S_p = I_0 \cdot U \quad (25)$$

jednotková spotřeba energie p_j

$$p_j = \frac{i}{\eta} \quad (26)$$

kde: i – teoretické využití elektrické energie (měrná entalpie)

tepelný výkon W_t

$$W_t = \frac{P_0 - P_c}{i} \quad (27)$$

Znalost těchto charakteristik má hlavní význam pro správné využití pece, dovoluje vyznačit oblast změn proudu, ve které je pec povinna pracovat tak, aby dosáhla optimálních technologicko-ekonomických parametrů (např. minimální spotřeby elektrické energie).

Pracovní charakteristiky můžeme určit z kruhového diagramu pro definované napájecí napětí (napětíový stupeň pecního transformátoru) a fázi. Častěji se však vykreslují na základě změřených parametrů pece, porovnají se získanými z kruhového diagramu a eventuálně korigují.

Doporučuje se, aby proud oblouku byl umístěn v oblasti od I_{omin} (minimální spotřeby energie p_j , maximální účinnost elektromechanická η) do I_{omax} (maximální výkon na oblouku P_0) (obr. 18) [5].

2.7. Popis elektrické obloukové pece č. 5 v majetku Vítkovice Heavy Machinery a.s.

Jedná se o pec s kapacitou vsázky 85 tun a průměrem pláště 5600 mm. Pec je třífázová napájena střídavým napětím z transformátoru 22 kV/800 V s výkonem 42/46 MV·A. Tento výkon je předáván přes krátkou cestu elektrodám typu FUCHS o průměru 500 mm. Elektrody jsou chlazeny vodou v místě upevnění na regulačních ramenech, každé rameno má regulaci zdvihu s automatickou pracovní rychlostí 80-120mm/s a možností natočení elektrod o 70°. Tyto ramena jsou také chlazená vodou.

Dále pec obsahuje 4 rafinační hořáky, které jsou zabudované přímo do stěny nádoby pece, a jeden je v pecních dveřích. Pracují se směsí kyslíku a zemního plynu. V prvních minutách tavby se hořáky nezapínají. K tomu dojde až při roztavení určitého množství železného šrotu. Hořáky se zapalují teplem, které vzniká při práci oblouku. Hořáky vypomáhají především při natavování vsázky, kdy materiál řezou, slouží také pro urychlení natavování strusky. Při tekuté lázni mohou být hořáky přepnuty do režimu, kdy pomáhají promíchávat lázeň.

Nádoba pece je vyzděna žáruvzdorným materiálem, který je v horní části chlazen vodou. Vodou je také chlazená klenba. Celá pec je připevněná na naklápěcí plošinu krabicovitěho typu s vyklápěcím úhlem +18°/-8° (odpichový/odstruskovací).

2.7.1. Technické parametry pece č. 5

Kapacita pece:	85 tun
Hmotnost odpichu:	70 tun
Tekutý zbytek:	10 tun
Kombinovaný rafinační hořák	
Počet:	3
Jmenovitý výkon:	3,5 MW
Vysokoproudový systém:	
Výkon transformátoru	42/46MVA
Primární napětí:	22 kV
Sekundární napětí:	850-477 V
Počet napěťových odboček (na přepínači odboček)	18
Max. sekundární proud	max. 40,8 kA
Frekvence:	50 Hz
Počet stupňů tlumivky	6
Elektrodový systém:	
Průměr elektrody:	500 mm
Ramena elektrody:	typ FUCHS

Upínání elektrody:	talířová pružina s hydraulickým uvolněním
Hlava držáku elektrody:	chlazena vodou
Hydraulika:	
Hydraulická kapalina:	Water Glycol
Pohony pece:	
Vyklápěcí zařízení:	hydraulické
Vyklápěcí úhel:	
-odpichová strana:	max. +18 °
-odstruskování:	-8 °

[10,8]

2.7.2. Technický postup tavení

Před samotnou tavbu se nejdříve plní pec vsázkou, která je zde nasypána pomocí koše o nosnosti 50 tun, je také přidáno vápno o hmotnosti cca 2 tuny. Po naplnění pece dochází k uzavření víka a nastavení elektrod do výchozí polohy. Při zapnutí výkonového vypínače začnou ramena s elektrodami sjíždět do místa prvního zapálení oblouku. Celý postup je řízen automaticky pomocí systémové regulace zdvihu elektrod. Tímto se začne s natavováním vsázky. Celý průběh tavení je pečlivě snímán pomocí čidel, které hlídají hodnoty, mezi které patří teplota chlazení, množství průtoku chladicí vody, tlak vody, teplota vsázky, velikost proudů a napětí, odebíraný výkon, účinník, spotřeba O₂ a zemního plynu v kombinovaných rafinačních hořácích a podobně. Všechny hodnoty jsou vyhodnocovány a následně pomocí automatik udržovány v mezích, které jsou nastavené pro příslušný technologický postup. Samozřejmě, že dochází i k dlouhodobé archivaci těchto naměřených dat pro případné pozdější vyhodnocování průběhu jednotlivých taveb.

Podle požadovaného množství roztavené oceli je možno přidat ještě další šrot pomocí mobilní rakety o nosnosti 25 tun. Pokaždé ovšem probíhá natavení nově přidaného šrotu. Během tavby jsou odebírány vzorky, pomocí kterých se zjišťuje obsah jednotlivých chemických prvků. Před vylitím tavby dochází k legování jednotlivých chemických prvků podle požadavku na výslednou tavbu. Toto legování se provádí přidáváním přísad, mezi které patří nikl v podobě tabulí, hliníku v podobě housek drátu – LF, chromu atd. Jednotlivé hodnoty jsou legovány jen do určitých mezí podle požadavků tavby. Přesné dolegování se pak provádějí na LF peci VD podle vyráběného chemického složení.

Následně je pec nakloněná na +3° a na řídicí plošinu odpichu musí být přiveden signál pro běžné odpichové procedury. Následně je z tavby odlito požadované množství taveniny a pec se naklání do polohy (-8°). Při tomto náklonu struska přeteče na stranu, kde se nachází dvířka, přes které se slévá do struskové koliby. Tím je ukončen jeden cyklus tavení a může dojít k novému plnění.

3. Optimalizace energetického režimu obloukové pece

Pronikáním počítačů do všech technických oborů a postupným zdokonalováním jejich vlastností dochází ke stále většímu využití počítačů pro aplikace zcela odlišného charakteru. K přímému řízení výrobních pochodů se uplatňují počítače, které mají potřebné vlastnosti k přímému řízení výrobních pochodů v reálném čase. Jsou to tzv. řídicí počítače, které využívají integrované obvody, dokonalejší periferní zařízení pro styk s vnějším prostředím a zdokonalenou logickou strukturu počítače.

Podstata stanovení optimálního režimu práce elektrické obloukové pece spočívá v tom, že pro různé kombinace napěťových stupňů a proudu oblouku se propočítá chování řízené soustavy v následujícím časovém intervalu a vyčíslí se očekávaná hodnota kritériální funkce. Režim, u kterého se najde minimum této funkce, je pak zadán jako optimální. [1]

3.1. Kritériu optimalizace energetického režimu

Teoretické poznatky i praktické zkušenosti ukazují, že energetický režim elektrické obloukové pece rozhodujícím způsobem ovlivňuje spotřebu elektrické energie, účinník, spotřebu elektrod, tepelné zatížení zdiva a jeho životnost i rozsah mezitavbových oprav. Na použitém energetickém režimu bezprostředně závisí výrobnost pece. Zlepšení jednoho ukazatele však může způsobit zhoršení jiných, proto je nutné jednotlivá dílčí hlediska sjednotit na srovnatelném základě. Toto sjednocení umožňuje nejlépe hodnotové vyjádření. V údobí tavení je zřejmé, že kritériální funkce musí zahrnovat kromě přímých nákladových položek i konstantní náklady připadající na jednu tunu vyrobené oceli.

Kritériální funkce CNI představuje celkové náklady na roztavení jedné tuny vsázky:

$$CNI = \frac{ELN + ELKN + ZN + CN + Z}{VT} \quad (28)$$

kde ELN, ELKN, ZN ..náklady na elektrickou energii, elektrody a zdivo [Kč/hod.]

CN konstantní nákladové položky [Kč/hod.]

Z zisk dosažený z nadplánované produkce [Kč/hod.]

VT tavící výkon [t/hod.]

Náklady na elektrickou energii jako funkci zvoleného režimu můžeme stanovit pomocí elektrických charakteristik pece naprosto objektivně a přesně.

Vztah pro stanovení ceny 1 kWh – CEL vyjadřuje následující vztah:

$$CEL = CELZ \cdot [1,9 - 0,9 \cdot (1 - K) - K \cdot \cos \varphi] \quad (29)$$

kde CELZ základní sazba při $\cos \varphi = 0,95$

K součinitel, který relativně ohodnotí více náklady na kompenzaci účinníku

v závodě [Kč/kWh]

V případě, že elektroocelárna vystupuje jako samostatný odběratel a kompenzace se neprovádí, pak součinitel K je roven jedné.

Položka ELN pro kritériální funkci je pak dána vztahem:

$$ELN = CELZ \cdot PC \quad (21)$$

kde PC primární výkon

Vliv energetického režimu na spotřebu elektrod ELKN má tvar:

$$ELKN = AEK + BEK \cdot I^2 - CEK \cdot \frac{U}{I^2 \cdot R} \quad (22)$$

kde I proud oblouku

U napěťový stupeň

Hodnoty AEK , BEK , CEK mohou být různé a shrnují v jednotlivých případech vliv povrchové oxidace rozžhavených elektrod, spotřebu elektrody úměrnou čtverci procházejícího proudu, rozpuštění celé elektrody ve strusce.

Vliv energetického režimu na opotřebení zdíva se opírá prozatím o provozně ověřené zkušenosti, že s narůstajícím tepelným zatížením zdíva jeho životnost progresivně klesá.

$$ZNC = (ANO + BNO \cdot T_K) \cdot [1 + \Delta T(T_P - AN) \cdot BN] \quad (23)$$

kde $\Delta T = T_K - T_P$

T_K teplota na konci optimalizovaného údobí

T_P teplota na počátku optimalizovaného údobí

AN , BN , ANO , BNO empiricky stanovené součinitele

Předností navržené koncepce optimalizace je, že při výpočtech se vychází ze znalosti stavu řízené soustavy v daném okamžiku a sestavená kritériální funkce umožňuje ocenění na srovnatelné základně všech jejich ovlivňovaných složek při různých energetických režimech tavení [1].

3.2. Energetický a technologický systém AISYS

3.2.1. Technický popis měřicí soupravy

Všechna měřicí místa jsou vybavena průběhovým měřením energie s dálkovým přenosem údajů. Pro měření v sítích vysokého napětí je použita měřicí souprava trísystémová. Důvodem je

výskyt nesouměrnosti jak v napěťových, tak v proudových obvodech. V sítích nízkého napětí je pro čtyřvodičovou soustavu 230/400 V použita měřicí souprava třísystémová, pro soupravu 500 V souprava dvousystémová.

Pro síť VN jsou navrženy elektroměry ENERMET typu E700 s následujícími parametry:

vstupní proud: 5A
vstupní napětí: 3 x 57 / 100 V
počet měřících systému: 3
elektroměr pro nepřímé měření
elektroměr pro obousměrné měření činné energie a měření jalové energie
třída přesnosti: 1 %
volitelné modul: M704.2
(komunikace RS-232, RS-485, SO vstup, 8 stavových vstupů, 6 výstupů OPTOMOS)
výstupní impulsní: č. 1 Wh odběr
 č. 2 Wh dodávka
 č. 3 VARh induktivní.
 č. 4 VARh kapacitní
 č. 5 synchronizační puls 15 minut
 č. 6 nevyužit

Pro síť NN jsou navrženy elektroměry ENERMET typu E700 s následujícími parametry:

vstupní proud: 5A
vstupní napětí: 3 x 230 / 400 V
měřící rozsah: 80 – 115% U_n
počet měřících systému: 3
elektroměr pro nepřímé měření
elektroměr pro jednosměrné měření činné energie
třída přesnosti: 1 %
volitelné modul: M704.2
(RS232, RS-485, 1 SO vstup, 8 stavových vstupů, 6 výstupů OPTOMOS)
výstupní impulsní: č. 1 Wh odběr
 č. 5 synchronizační puls 15 minut
 č. 2, 3, 4, 6 nevyužit

[10]

3.2.2. Přenos dat pro obchodní měření

Přenos dat pro obchodní měření EVi je realizovaná přes rozhraní RS485. Přenos kontrolních údajů pro zákazníka (impulsy + čtvrt hodina) je veden přes optický oddělovač typu GOU 6 umístěný v plombovatelném krytu. [10]

3.2.3. Zapojení měřícího zařízení

Před elektroměrem je umístěna typizovaná zkušební svorkovnice. Před zkušební svorkovnicí je do napěťového obvodu vřazen pojistkový odpínač 2 A, plombovatelný v zapnutém stavu. Interface GOU 6 je jištěn dvoupólovým pojistkovým odpínačem 2 A stejného provedení. Pro připojení komunikačního kabelu rozhraní RS485 je instalovaná plombovatelná krabicová rozvodka HENSEL s příslušnou svorkovnicí. [10]

3.2.4. Popis programového prostředí

Složka AISYS obsahuje ikony pro spuštění aplikace AISYS, Server a Tabulky pro grafické zpracování. Se spuštěním Windows se automaticky spouští základní aplikace systému AISYS tzv. Server, který spouští komunikaci se sítí procesních stanic. Pro uživatele je tato aplikace skrytá a pracuje v pozadí.

Hlavní pracovní plocha systému AISYS obsahuje:

- systémové butony prostředí Windows
- hlavní menu systému
- buton pro spuštění obrazovky grafu maxima a odběru
- butony pro spuštění energetických a technologických obrazovek
- buton pro rychlý archiv

V systému AISYS je použito jednotné ovládání pro všechny objekty. Pomocí myši lze na obrazovkách ovládat jednotlivá zařízení, otevírat dialogy, nastavovat parametry. Systém AISYS umožňuje vést přehlednou databázi jednotlivých měřených míst. V jednotlivých obrazovkách obsahujících elektroměry mohou být umístěny butony, které nám zprostředkují tuto službu systému. Po kliknutí na tento buton se otevře tabulka s popisem vývodů (elektroměrů) dané rozvodny/trafostanice. Tato tabulka přehledně zobrazuje zapojení jednotlivých elektroměrů na vývody rozvodny/trafostanice a jejich popis.

Hlavní výhodou je automatizované zpracovávání a shromažďování dat různého druhu.

Patří zde například:

- průtoky, tlaky a teploty chladicích kapalin
- měření čtvrt hodinových maxim
- odběr jalových a činných výkonu
- měření flikru
- měření $\cos \varphi$
- spotřeba O_2 , zemního plynu a dalších provozních plynů a kapalin
- zaznamenává stavy zařízení a ochran (poruchy)
- provozní hodiny

- teploměry, tlakoměry, průtokoměry, clony, čerpadla, ventilátory, ventily, kotle, kaskády, regulace, atd. [7]

3.2.5. Možnosti archivace dat v prostředí AISYS

Možnosti archivace v prostředí AISYS jsou velice rozmanité. Pro zpracování a archivaci naměřených dat nám slouží podprogram ARCHÍV. V tomto prostředí můžeme data jednoduše uspořádat podle svého uvážení a téměř ničím nejsme omezeni.

Program z naměřených dat umožňuje sestavovat tabulky a grafy, ve kterých je zachycen průběh odběru elektroměrů, průtokoměrů, tlaků a teplot, zkrátka všech hodnot naměřených systémem AISYS.

Je možno prohlížet si data naměřená v kterýkoliv den, jejich měsíční a roční sumaci. Tato data je možno zobrazit přímo v programu ARCHIVY, případně nechat data “vyexportovat” do programu MS-Excel.

Další vlastností programu ARCHIVY je možnost zobrazovat události. Všechna zařízení, která jsou v systému AISYS mohou generovat události. Událostí se rozumí změna stavu zařízení, tj. např. změna konstanty elektroměru, najetí ventilu na koncovou polohu, příchod synchronizačního impulsu, vypnutí či zapnutí spotřebiče aj. Tyto události je možno přehledně zobrazit a tak vysledovat chování jednotlivých zařízení v závislosti na okolních zařízeních a na čase.

Jelikož archivované údaje přicházejí a ukládají se na počítač neustále a následné zpracování dat může být časově náročné, můžeme použít automatického zpracování dat. [7]

4. Vyhodnocení dat

Pro získávání dat a práci s naměřenými daty byl společností VÍTKOVICE HEAVY MACHINERY a.s. zvolen program AISYS. S volbou systému AISYS souhlasím, jelikož funkce jsou popsány výše a jsou naprosto dostačující. Data byla z tohoto programu vyexportovaná do podoby MS-EXCEL. Jako první úkol u všech bodů bylo odstranění taveb, které by mohly zkreslit výsledky. Jednalo se především o tavby, u kterých byla velká odchylka tavby od průměrné hmotnosti. Dále tavby, u kterých byly značné prostoje (tavby s HPČ nad 200 minut).

Zbylé tavby jsem následně zpracovával a vyhodnocoval. Výsledky můžete vidět v dalších podkapitolách.

4.1. Rozbor energetických parametrů EOP č. 5 v závislosti na vyráběné jakosti oceli

Společnost Vítkovice HEAVY MACHINERY a.s. má možnosti pro výrobu několika druhů oceli. Mezi nejčastěji vyráběné oceli patří nelegované (tzv. uhlíkové oceli) a oceli legované (CrMo a NiCrMo oceli). Za úkol jsem měl porovnat tavby v rozmezí od 2.2.2009 do 26.2.2009. Z těchto dat jsem vytvořil tab. 1, kde jde jednoznačně poznat, že u jednotlivých taveb jsou velké rozdíly ve všech spotřebovaných energiích.

tab. 1 - Závislost energetických parametrů na jakosti oceli

Jakost tavby	půměr kWh/t	půměrná spotřeba O ₂ m ³ /t	půměrná spotřeba zem. plynu m ³ /t	půměrná hmotnost	půměrný hpč	půměrný čpč
uhlíková	504,23	31,07	7,07	61,07	109,55	99,62
NiCrMo	466,83	28,06	6,78	61,60	107,23	99,86
CrMo	516,86	32,56	7,04	57,04	106,63	97,81

Tento rozdíl mezi jednotlivými tavbami je zkreslen z důvodu neprovedeného přepočtu na jednotnou váhu. Tento přepočet jsem provedl v tab. 2.

tab. 2 - Závislost energetických parametrů na jakosti oceli s přepočtem na jednotnou váhu 61 tun

Jakost tavby	kWh/t	půměrná spotřeba O ₂ m ³ /t	půměrná spotřeba zem. plynu m ³ /t
uhlíková	504,83	31,11	7,08
NiCrMo	471,42	28,34	6,85
CrMo	483,29	30,44	6,59

Po přepočtu můžeme pozorovat, že se změnila především hodnota kWh/t u oceli NiCrMo a oceli CrMo. Hodnoty spotřeby O₂ a zemního plynu se nikterak výrazně nezměnily. Z tabulek jde tedy vyčíst, že druh vyráběné oceli má především vliv na spotřebu elektrické energie. Je patrné, že nižší spotřebu energií mají oceli legované. Rozdíl v spotřebě elektrického výkonu na jednu tunu je způsoben rozdílným železným šrotem, který se právě u legovaných ocelí, oproti nelegovaným, liší. Rozdíl je ve složení a velikostech kusů, které tento šrot obsahuje.

Grafy závislosti spotřeby energetických parametrů v závislosti na jakosti oceli jsou v příloze na stránce 42.

4.2. Provoz spotřebních parametrů EOP č. 5 s různými napětíovými odbočkami

Transformátor, který je použit u EOP č. 5 pracuje na straně primární s napětím VN o hodnotě 22kV na straně sekundární může pracovat v rozmezí 850-477V, toto napětí lze přepínat pomocí odboček za chodu transformátoru a tím přizpůsobovat napětí a proud podmínkám tavby. Počet odboček, mezi kterými můžeme přepínat, je osmnáct a přepínání mezi nimi se provádí především na začátku tavby.

Na začátku tavby (cca. 6 minut) je na transformátoru nastavená odbočka 6. Následně se přepíná nejčastěji na odbočku 13, případně po dalších pár minutách můžeme přepnout až na odbočku 18. Po roztavení první vsázky se přidá druhý koš železného šrotu. U této vsázky se přepíná mezi odbočkami 8→13→18. Po dosažení potřebné teploty se odeberou vzorky a následně se leguje. Při legování se používají odbočky 13 až 15.

tab. 3 - Závislost tavby na zařazené odbočce na transformátoru

nastavená odbočka	půměr kWh/t	půměrná spotřeba O ₂ m ³ /t	půměrná spotřeba zem. plynu m ³ /t	půměrná hmotnost	půměrný hpč	půměrný čpč
13	480,01	34,34	8,48	59,08	106,29	97,80
14	485,06	20,48	6,03	62,55	108,96	97,78
15	487,00	19,73	6,07	62,06	107,42	97,65
16	487,40	22,12	7,52	61,56	103,11	97,89
18	489,56	29,85	7,15	61,03	105,78	96,65

tab. 4 - Závislost tavby na napět'ové odbočce přepočteno na váhu 61 tun

nastavená odbočka	půměr kWh/t	půměrná spotřeba O ₂ m ³ /t	půměrná spotřeba zem. plynu m ³ /t
13	464,89	33,26	8,21
14	497,37	21,00	6,18
15	495,47	20,07	6,17
16	491,90	22,32	7,59
18	489,77	29,86	7,15

Z tab. 3 jsem sestavil dva grafy. graf 3 znázorňuje závislost elektrické energie na nastavené odbočce, kde můžeme vidět, že při snižování odboček se zmenšuje i dodávaný výkon. Rozdíl u odboček 13 a 18 v odebraném výkonu na jednu tunu je 9,58 kWh, což při celkové vsázce 61 tun vytvoří úsporu 584,34 kWh. Z graf 4 pak můžeme vyčíst, že chybějící energie se dodává pomocí zvětšené spotřeby plynů na rafinačních hořácích. Pokud bychom tuto spotřebu plynů nezvětšili, nastalo by prodloužení celé tavby. Toto navýšení spotřeby hořáku jde vidět především při porovnání osmnácté a patnácté odbočky. U odboček 14, 15 a 16 údaje zkruslil krátkodobý testovací provoz, kdy se u těchto odboček testovala různá nastavení pece.

4.3. Plánování nákupu energií – přesnost plánu vzhledem ke skutečnému odběru

Plánování odběru na určité období je dosti složité, jelikož do jednotlivého plánu, mohou zasáhnout nepředvídatelné okolnosti. U obloukových pecí to jsou zejména prostoje vlivem čekání na sekundární zpracování oceli (LF pec) a podobně.

Přesnost naplánování je pro podnik provozující elektrickou obloukovou pec velice důležitá, a to zejména z důvodu pokutování překročení dohodnutých hodnot s distributorem elektrické energie Energetika Vítkovice a.s. Hlídány jsou především čtvrt hodinová maxima a hodinový odběr.

U hodinového odběru se plánování provádí s předstihem na 2 dny. Tento plán se provádí pro všechny zařízení, přičemž je patrné, že největšími odběrateli elektrické energie jsou EOP č. 5, LF pec a další obloukové pece. Plán se provádí s ohledem na tavby a plánované opravy. Nedodržení toho plánu je smluvně ošetřeno v podobě pokuty, které se začínají počítat od překročení poslaného plánu v danou hodinu o $\pm 10,5$ MWh. Po překročení této hranice 10,5 MWh se za každou překročenou 1 MWh uděluje pokuta v hodnotě 390 Kč.

I přestože se zdá tato částka malá, můžou se pokuty vyšplhat do řádu několika statisíc za jeden měsíc. Což jen potvrzuje, jak složité je přesné naplánování hodinového odběru.

tab. 5 - Tabulka pokut

plánovaný odběr celkem	11955,35	MWh
skutečný odběr celkem	12609,53	MWh
rozdíl v plánu a skutečností	654,18	MWh
cena pokut	574 760,6	Kč
celkem pokutovaných hodin	259	
průměrná cena jedné pokuty	2219,15	Kč

Tabulka je sestavena z údajů za období od 3.1.2009 do 27.2.2009. V tomto období bylo celkem uděleno 259 pokut s průměrnou sazbou 2219,15 Kč. Celkem se tedy pokuty vyšplhaly na částku 574 760,6 Kč.

Z celého sledovaného úseku, kromě víkendu, kdy jsou pravidelné odstávky, jsem vybral den, kde byl plánovaný a skutečný odběr nejlépe dodržován a den, kdy se odběr nepovedl dodržet. Nejlépe naplánovaný den byl 19.1.2009 (graf 5), kdy pokuta byla udělena za 12, 18 a 19 hodinu. Přičemž překročení hranice 10,5 MWh bylo v těchto hodinách jen nepatrné (do 3 MWh). Celková cena pokuty za tento den byla pouze 1560 Kč. Zato den s nejhorším naplánováním byl 18. 2. 2009 (graf 6). Bylo uděleno 9 pokut, dohodnutý odběr byl překročen 65,5 MWh a cena pokuty za celý den se vyšplhala na hodnotu 32 370 Kč. V tento den byl navýšen odběr z důvodu zařazení několika taveb, které v době plánování odběru nebyly ve výrobním plánu, což je hlavní důvod tak vysokých pokut v tento den.

4.4. Závislost tavícího proudu na průměrné hmotnosti taveb EOP č. 5

Data jsou za jedenáctý měsíc roku 2008. Kromě eliminace taveb po dlouhodobé odstávce, kdy pec značně vychladne, je důležité odstranit i tavby s rozdílným tekutým zbytkem po vylití oceli z pece (darby). Tento zbytek totiž dost podstatně ovlivňuje jak délku tavby, tak i potřebný výkon na roztavení, proto jsem odstranil tavby s tekutým zbytkem menší než 8 tuny a větší než 15 tun. Zbylé tavby jsem následně uspořádal od nejmenší po největší vsázku a sestrojil z těchto dat graf 7. Z něj je patrné, že se zvětšující se hmotností vsázky, klesá i spotřebovaná energie potřebná na roztavení této vsázky. Toto odpovídá mému tvrzení, že pec je ideální provozovat na co možná největší možný objem (85 tuny), ale podle sortimentu výroby na ocelárně se požaduje vyrábět tavby od 40t až po 85t.

5. Zhodnocení

Data, pro tuto práci byla získávána z měřicího a archivačního programu AISYS. S touto volbou společnosti Vítkovice a.s. se ztotožňuji. Program totiž zpracovává velké množství dat z různorodých měřidel, ať se jedná o měření tlaku, teplot, průtoků, atd. a archivuje je po neomezenou dobu. Následně může být jakákoliv část z archivovaných dat zpracovávána a výsledky nám mohou pomoci k zvyšování produktivity výroby oceli.

V bodě 4.1 jsem zkoumal, jak ovlivní vyráběna jakost oceli celkovou spotřebu elektrické energie a technických plynů. Z výsledku je patrné, že vyráběna jakost oceli ovlivňuje spotřebu a to hlavně spotřebu elektrické energie. Oproti legovaným je při stejné váze vsázky spotřeba elektrického výkonu nižší, nižší je i spotřeba technických plynů (O_2 a zemního plynu). Tyto výsledky mě vedou k závěru, že výroba legovaných oceli je méně energeticky náročná.

Při srovnávání spotřebních parametrů v závislosti na nastavené odbočce, můžu říct, že výsledky se shodovali s mým očekáváním. Při nastavení nižší odbočky klesl výkon pece na oblouku a chybějící energie se dodávala pomocí rafinačních hořáků. Toto porovnání spotřeby elektrické energie a technických plynů, jde vidět na grafech 3 a 4. A to především u odboček 13 a 18, kde vidíme, že u odbočky 13, je spotřeba elektrické energie 480,01 kWh/t, spotřeba O_2 je 34,34 m³/t a spotřeba zemního plynu je 8,48 m³/t. Kdežto u odbočky 18 je spotřeba elektrické energie 489,59 kWh/t, spotřeba O_2 je přitom jen 29,85 m³/t a spotřeba zemního plynu se taky snížila na 7,15 m³/t. U odboček 14 až 17, je spotřeba technických plynů ovlivněna změnou nastavení pece při testování různých parametrů a proto bych ze spotřeby technických plynů nevyvozoval žádné závěry. Můžu tedy obecně říct, že po nastavení vsázky je nejideálnější napěťový stupeň 13, kde je ideální kompromis ve spotřebě elektrické energie a technických plynů.

V oblasti plánování hodinového výkonu, které se plánuje s předstihem dvou dnů, je velice důležité znát počet a druh vyráběné oceli a pracovní harmonogram. Od toho se odvíjí naplánování. Přesto je nemožné naplánovat dohodnuté odběry s velkou přesností, protože na pecích se můžou vyskytnout velké prostoje, kdy pec nemá žádný odběr z důvodu opravy, ale v plánu je objednaný odběr. A naopak, po opravě se musí splnit výroba, ale v plánu už není s chodem pece počítáno. To jsou hlavní důvody pokutování za nedodržení dohodnutého plánu.

6. Závěr

V diplomové práci jsem měl posoudit a navrhnout optimalizační kroky na EOP č.5 společnosti VÍTKOVICE HEAVY MACHINERY a.s. Data, která jsem dostal, nejdřív musely projít nutnou korekcí. Odstraňovaly se tavby po dlouhých odstavkách, tavby s velkým hrubým časem (HPČ) a tavby s velkými tavicími výkony. Tím jsem odstranil tavby, které by podstatně zkreslily výsledky. Následně jsem data vyhodnocoval.

Při vyhodnocování jsem zjistil, že tavby může ovlivnit spousta dalších proměnných, mezi které patří tekuté zbytky, nastavení odboček na transformátoru, druh železného šrotu a podobně. Mé závěry pro jednotlivé body práce jsou uvedeny v předchozím bodě.

7. Literatura

- [1] Hradílek Z.: Elektroenergetika distribučních a průmyslových sítí; Ostrava 2008
- [2] Hradílek Z.: Elektrické teplo; skripta VŠB Ostrava 1979
- [3] Rada J. a kolektiv: Elektrotepelná technika; SNTL 1985
- [4] Fremunt P., Šimon J.: Tavení oceli v elektrických pecích; SNTL Praha 1984
- [5] Hradílek Z. a kolektiv: Elektrotepelná technika; Ostrava 2001
- [6] Ing. Dejl J., Wünsche E.: Elektrické obloukové pece; Praha 1964
- [7] Příručka uživatele systému AISYS, AISE – JME, s.r.o.; Zlín
- [8] Technická dokumentace transformátoru a tlumivky od firmy TAMINI
- [9] ing. Milerský L.: Diplomový projekt; Ostrava 2006
- [10] bc. Kozubek M.: Bakalářský projekt; Ostrava 2004
- [11] Opory k předmětu užití elektrické energie

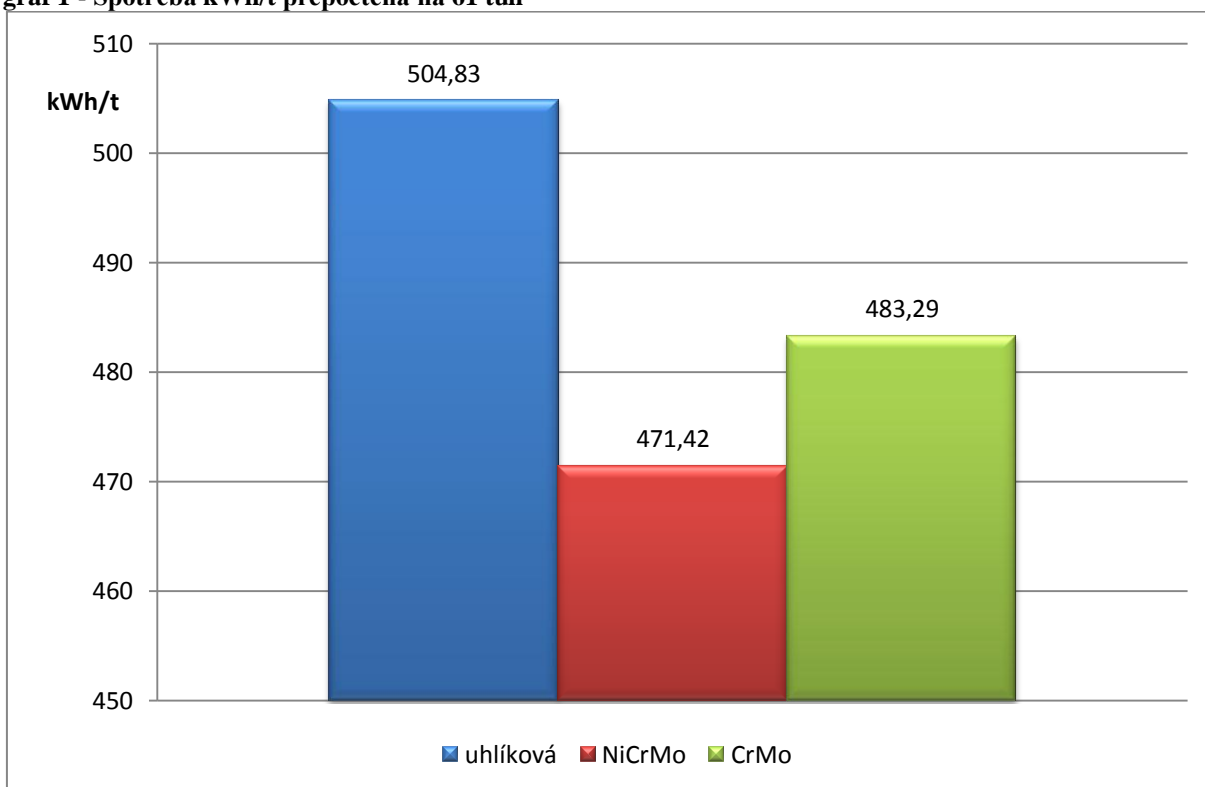
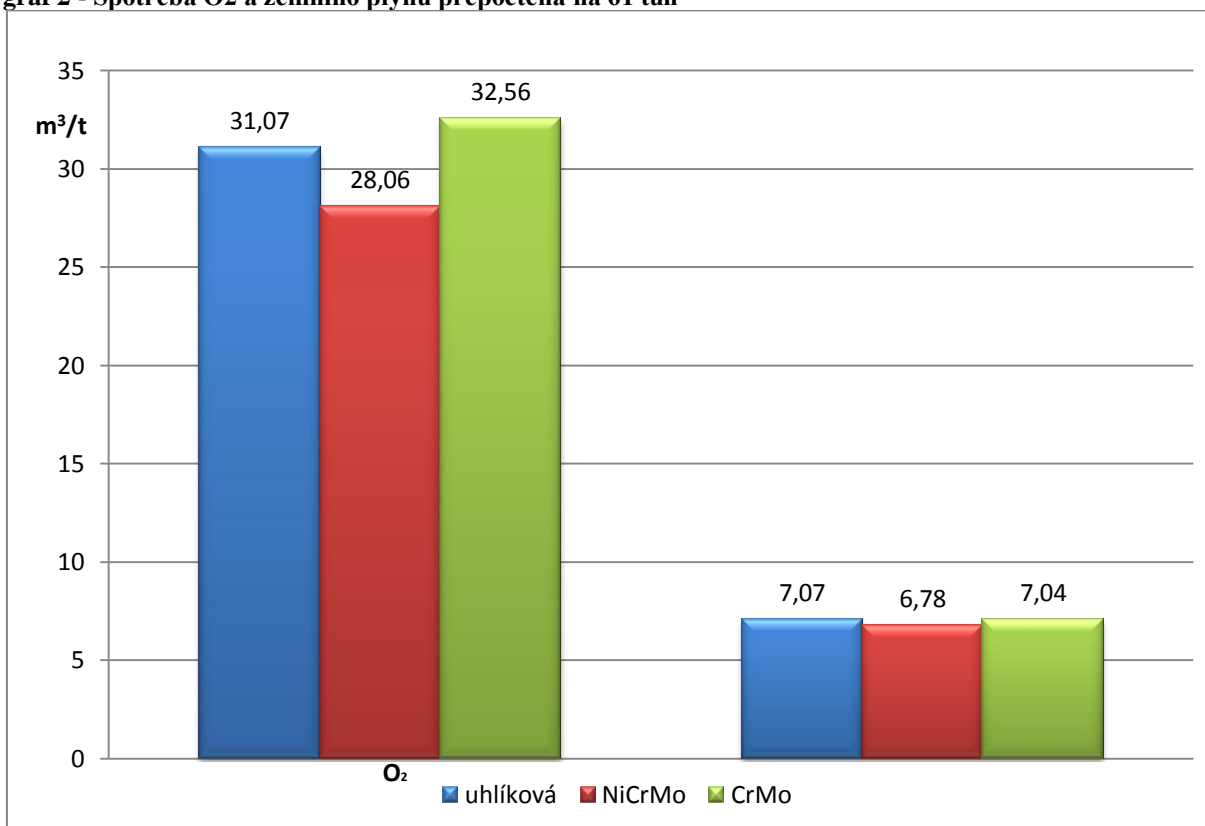
8. Seznam tabulek

tab. 1 - Závislost energetických parametrů na jakosti oceli	- 35 -
tab. 2 - Závislost energetických parametrů na jakosti oceli s přepočtem na jednotnou váhu 61 tun	- 35 -
tab. 3 - Závislost tavby na zařazené odbočce na transformátoru	- 36 -
tab. 4 - Závislost tavby na napěťové odbočce přepočteno na váhu 61 tun	- 36 -
tab. 5 - Tabulka pokut	- 37 -

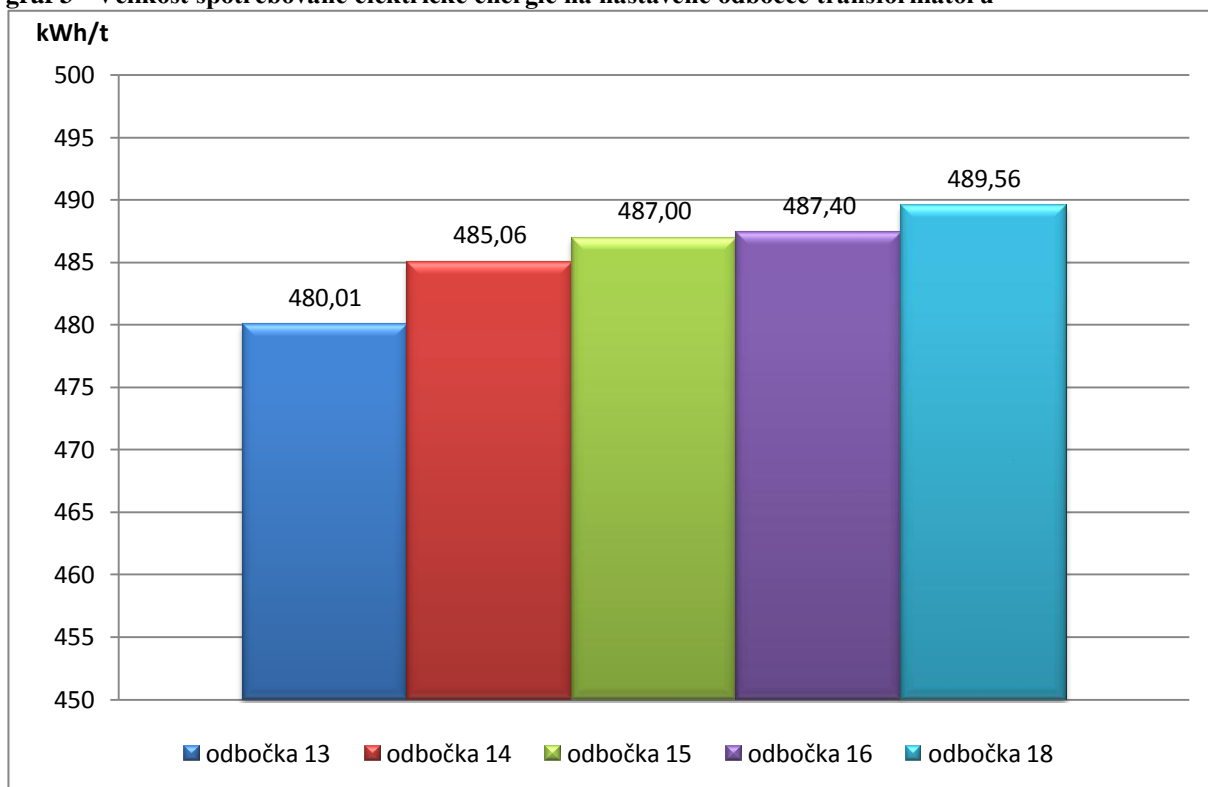
9. Seznam příloh

graf 1 - Spotřeba kWh/t přepočtena na 61 tun.....	- 42 -
graf 2 - Spotřeba O ₂ a zemního plynu přepočtena na 61 tun	- 42 -
graf 3 - Velikost spotřebované elektrické energie na nastavené odbočce transformátoru.....	- 43 -
graf 4 - Spotřeba O ₂ a zemního plynu v závislosti na nastavené odbočce transformátoru	- 43 -
graf 5 - Nejlépe naplánované hodinové odběry (19. 1. 2009)	- 44 -
graf 6 - Nejhorše naplánované hodinové odběry (18. 2. 2009)	- 44 -
graf 7 - Závislost tavicího výkonu na velikosti vsázky	- 45 -
obr. 19 - Pohled č.1 na EOP č.5.....	- 45 -
obr. 20 - Pohled č.2 na EOP č.5.....	- 46 -

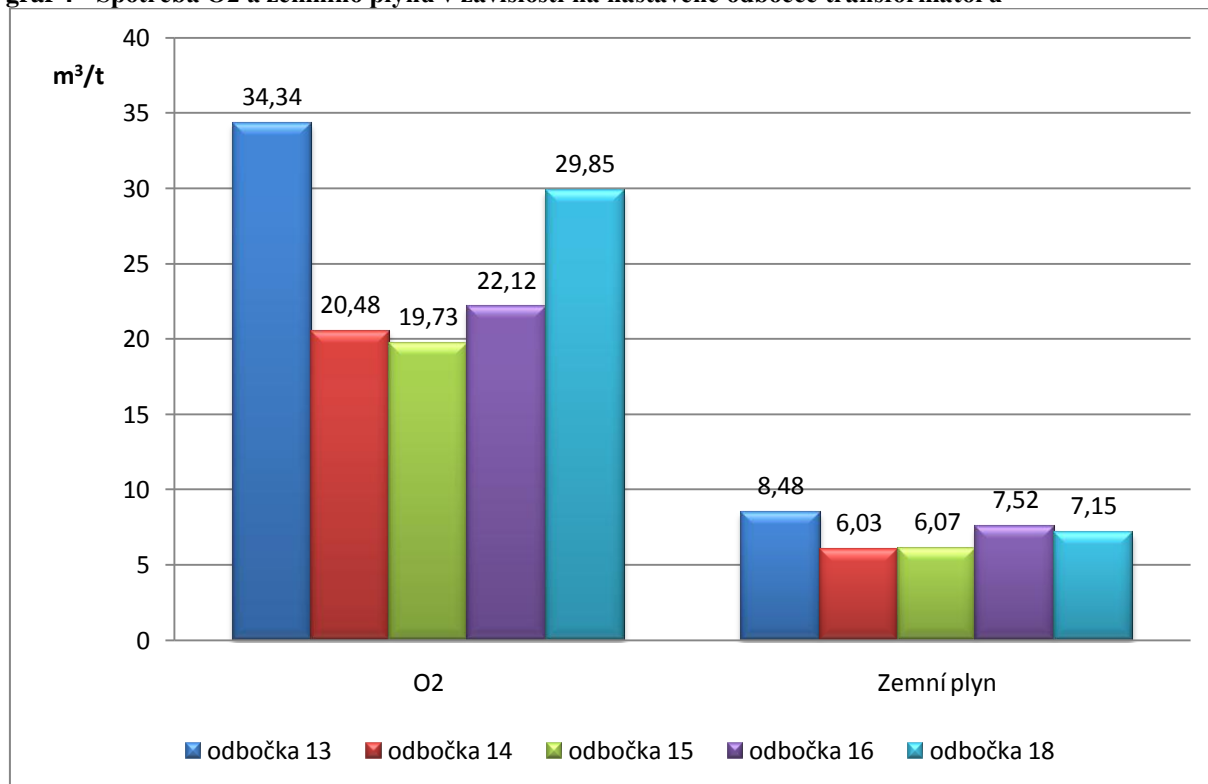
graf 1 - Spotřeba kWh/t přepočtena na 61 tun

graf 2 - Spotřeba O₂ a zemního plynu přepočtena na 61 tun

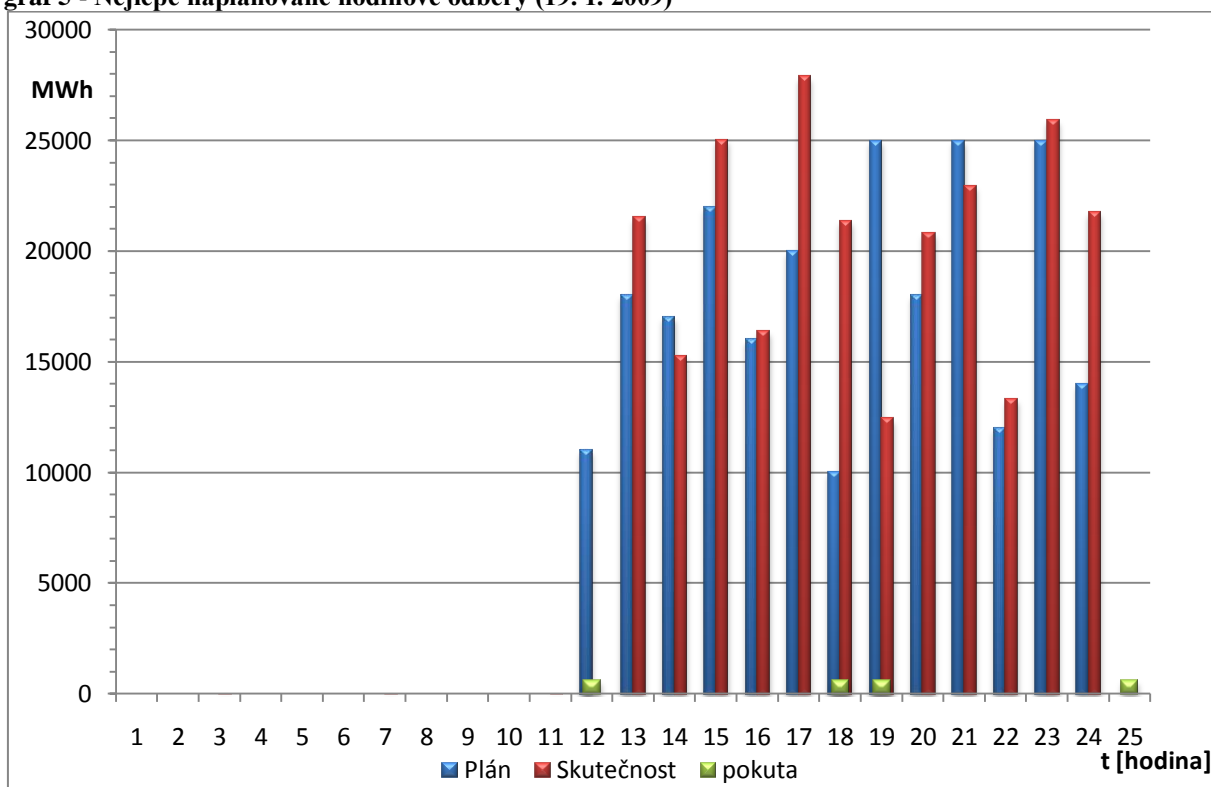
graf 3 - Velikost spotřebované elektrické energie na nastavené odbočce transformátoru



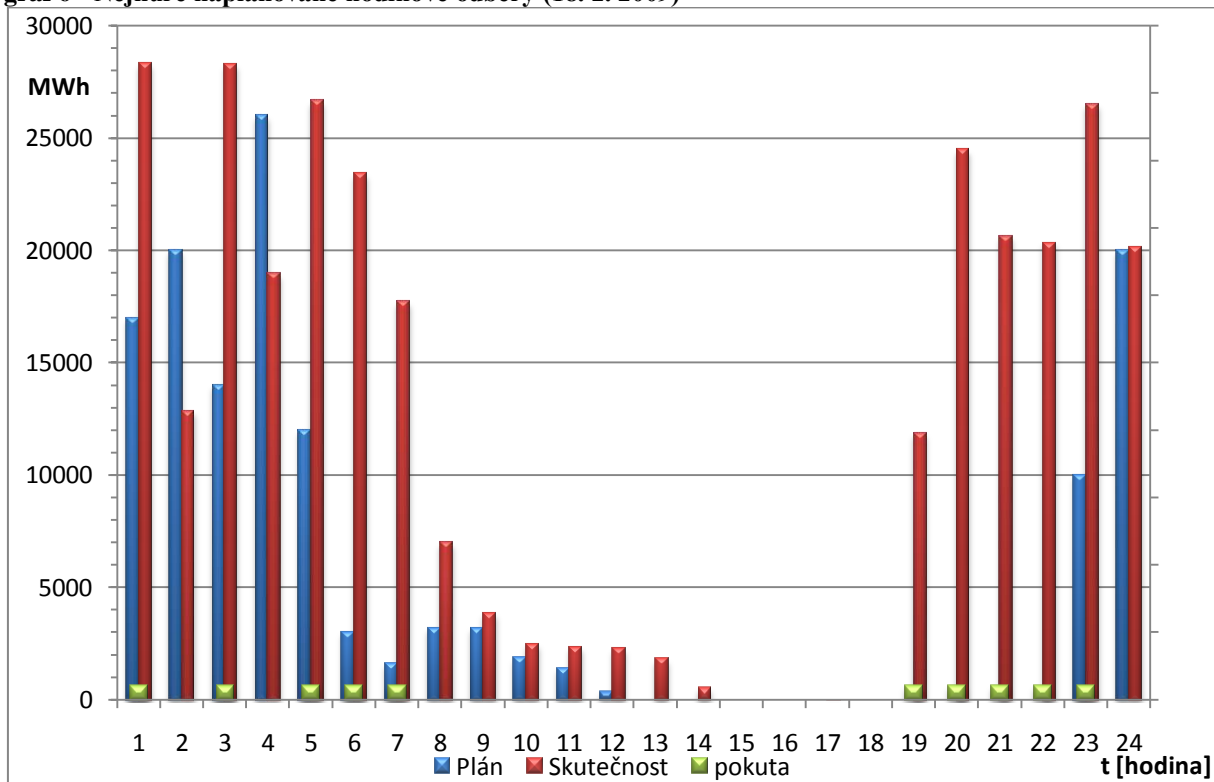
graf 4 - Spotřeba O2 a zemního plynu v závislosti na nastavené odbočce transformátoru



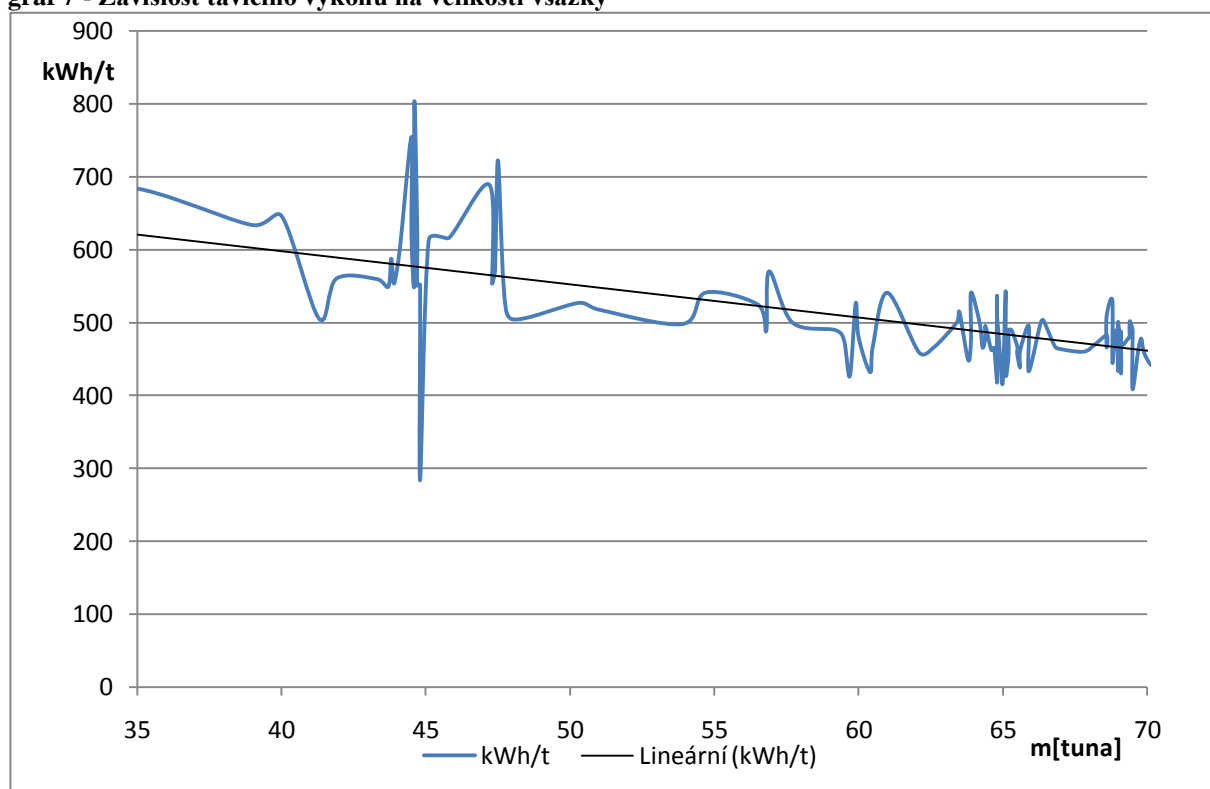
graf 5 - Nejlépe naplánované hodinové odběry (19. 1. 2009)



graf 6 - Nejhůře naplánované hodinové odběry (18. 2. 2009)



graf 7 - Závislost tavicího výkonu na velikosti vsázky



obr. 19 - Pohled č.1 na EOP č.5



obr. 20 - Pohled č.2 na EOP č.5

